MANUALI HOEPLI

MANUALE

DI

MAGNETISMO ED ELETTRICITÀ

DEL DOTTOR

GIUSEPPE POLONI

Professore di Fisica nel R. Istituto Tecnico di Milano.

CON 102 INCISIONI.

NAPOLI PISA

1884

Il presente Manuale è il compendio di un corso di lezioni pubbliche esperimentali, ch' io tenni alla Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri nell'inverno 1882-83. Vi è conservato il medesimo ordine e la medesima forma; salvo che là ebbero uno sviluppo più notevole la telefonia e la distribuzione elettrica della energia.

Mi auguro che il compendio stampato venga accolto così favorevolmente come le pubbliche conferenze.

G. P.

INDICE

Capitolo I.

Sguardo generale sulle diverse forme di energia fisica.

Capitolo II.

Proprietà fondamentali delle calamite.

CAPITOLO III.

Magnetismo terrestre.

CAPITOLO IV.

**Fenomeni fondamentali
risguardanti l'elettricità promossa per istrofinio.**

CAPITOLO V.

**Induzione elettrostatica.
Macchine elettriche. Scarica e corrente elettrica.**

CAPITOLO VI.

Condensazione elettrica.

CAPITOLO VII.

Elettricità atmosferica.

CAPITOLO VIII.

La pila.

Capitolo IX.

Effetti fisiologici della corrente.
Elettrolisi e galvanoplastica.

Capitolo X.

Effetti calorifici e luminosi della corrente.

Capitolo XI.

Azioni elettromagnetiche.

CAPITOLO XII.

Avvisatori, telegrafi e motori elettrici.

CAPITOLO XIII.

Correnti d'induzione.

CAPITOLO XIV.

Macchine magneto e dinamo-elettriche.

CAPITOLO I.

Sguardo generale sulle diverse forme di energia fisica.

1. Due sono i principî fondamentali sui quali si appoggia la fisica moderna: il principio della conservazione della materia e quello della conservazione dell' energia. Il primo, conquistato già da un secolo, principalmente per opera di Lavoisier, stabilisce che qualunque sia la trasformazione a cui vanno assoggettati i corpi, il peso complessivo della materia non viene mai nè aumentato nè diminuito minimamente. Il secondo, già intravvisto da parecchi pensatori anche del principio del secolo, posto in sodo e formulato verso la metà, significa in ultima analisi che un movimento non può aver origine che dall' estinguersi di un altro movimento.

Per meglio chiarire le cose che si diranno in seguito crediamo conveniente di riassumere quì le principali definizioni che servono ad illustrare il detto principio. [1]

[1] Vedi per più ampie notizie *Energia fisica* del prof. Ferrini, Vol. XXIII di questi Manuali.

2. Lavoro. — Si chiama *energia* l'attitudine a fare un lavoro fisico, ossia l'attitudine a *produrre un movimento vincendo una resistenza.* Così ad esempio, si fa un lavoro quando si solleva un peso vincendo la forza di gravità; quando si sega un tronco, si spiana una tavola di legno vincendone la coesione; quando si trascina un carro vincendo l'attrito, ecc. È ovvio che il lavoro fatto sarà proporzionale e alla grandezza della resistenza vinta e alla lunghezza del tratto percorso, purchè quella si sia mantenuta costante lungo l'intero tratto. Si è scelto per unità pratica di misura del lavoro il *chilogrammetro* cioè il lavoro che si fa sollevando 1 chilogrammo ad 1 metro da terra. L'unità adottata nell'industria è il *cavallo-vapore*, equivalente al lavoro di 75 chilogrammetri fatto in un minuto secondo.

Ora poichè una forza qualunque si misura praticamente in chilogrammi mediante il *dinamometro*, è chiaro che un lavoro qualsivoglia si potrà sempre valutare in chilogrammetri, moltiplicando il valore della forza vinta per lo spazio percorso dal suo punto d'applicazione.

3. Energia. — L'energia risiede sempre nei corpi. È *attuale* o *cinetica* quella di un corpo in moto, quella ad es. d'una cascata d'acqua, del vento, d'un proiettile. È *potenziale* o *disponibile* quella che può diventare cinetica quando che sia; quella, ad esempio, di un corpo pesante sostenuto ad una certa altezza, di un gas compresso in un recipiente, ecc.

È naturale che l'energia di un corpo sarà misurata dal numero di chilogrammetri di lavoro che essa può somministrare.

Ma l'esperienza quotidiana ci dimostra costantemente che il lavoro che si ottiene dal consumo di una energia disponibile è minore di quello che si dovrebbe aspettarsi.

Consideriamo il caso molto semplice di due pesi attaccati ai capi di una funicella avvolta nella gola di una carrucola fissa. Per quanto la carrucola sia agevolmente girevole intorno al proprio asse, se si vuol far salire uno dei detti pesi, sarà necessario che il peso che discende superi quello che ascende di una quantità non trascurabile; talchè per sollevare in tal guisa, ad esempio, il peso di 1 chilogr. a 1 metro di altezza sarà necessario di consumare più che un chilogrammetro di energia disponibile nel peso maggiore.

4. Calore. — In molti altri casi, come nell'attrito dei corpi in movimento, nell'urto di corpi anelastici, ecc., si vede estinguersi il movimento e quindi l'energia cinetica dei corpi, senza che appaia manifesto il corrispondente lavoro o una equivalente energia disponibile.

Or bene, in tutti questi casi si ha costantemente uno sviluppo di calore. E viceversa ogniqualvolta un corpo compie un lavoro senza che gli venga somministrata visibilmente veruna energia, esso si raffredda.

Così avviene d'un gas o d'un vapore che si espande vincendo una resistenza; di un animale che compie un lavoro materiale: e il consumo di calore è commisurato alla grandezza del lavoro eseguito. Dalle misure fatte da diversi sperimentatori risulta che per ogni caloria consu-

mata si producono 425 chilogrammetri di lavoro: questo numero si chiama l'*equivalente meccanico* del calore.

Il calore adunque che si sviluppa nell'urto, nell'attrito, nella percossa è l'equivalente della energia visibile che scompare; esso vuolsi perciò considerare come úna forma di energia cinetica molecolare.

5. Azioni chimiche. — Le sorgenti più ordinarie di calore sono le combustioni, cioè le combinazioni chimiche delle parti del combustibile coll'ossigeno dell'aria. Il fenomeno è una semplice trasformazione di energia.

Le molecole dell'ossigeno, a guisa di minutissimi projettili, si precipitano con grandissima velocità a fissarsi sulla superficie del corpo che arde, ed il calore sviluppato è appunto l'equivalente dell'energia cinetica che si estingue in simili urti.

Per l'opposto, nelle scomposizioni chimiche, onde vincere l'affinità che teneva congiunte le molecole nel composto, si richiede il consumo di una quantità di calore eguale a quella che si produrrebbe, qualora le molecole separate tornassero a combinarsi, Nello stesso modo per innalzare un certo peso ad una certa altezza si deve consumare una quantità di lavoro pari a quello che il peso sarebbe atto a produrre coll'annientarsi dell'energia cinetica acquistata nella caduta.

6. Radiazioni. — I suoni e le radiazioni calorifico-luminose sono, com'è noto, altrettante forme di energia; i primi dovuti a vibrazioni di

corpi elastici, dai quali vengono d'ordinario comunicate all'aria ambiente; le altre attribuite ad oscillazioni trasversali che si propagano in un mezzo elastico sottilissimo denominato *etere.* I suoni traggono origine dal consumo di una energia cinetica e possono essi medesimi generare altri suoni, oppure estinguendosi mano mano nell' aria si trasformano in calore. Le radiazioni vengono assorbite in diversa misura dai corpi ne' quali si abbattono e vi si manifestano con effetti diversi a seconda dei casi: il più delle volte scaldano, tale altra provocano combinazioni e scomposizioni chimiche, talvolta infine suscitano altre radiazioni luminose come nei corpi fluorescenti. Insomma esse rappresentano sempre una somma di energia fisica capace di comunicarsi da corpo a corpo.

7. Magnetismo ed elettricità. — Finalmente il magnetismo e l' elettricità rappresentano altre forme di energia fisica.

Un pezzetto di ferro posto in prossimità di una calamita possiede una certa energia potenziale, la quale si trasforma in cinetica, non si tosto si lasci compiere il movimento: allo stesso modo che un corpo ad una certa altezza, per l' attrazione che risente dalla terra, possiede una energia potenziale che si trasforma in cinetica appena esso venga abbandonato a sè stesso. E acciocchè il movimento si ripeta conviene consumare un certo lavoro per allontanare il pezzo di ferro dalla calamita, come per riportare il grave all' altezza di prima.

Parimenti allorchè si strofinano tra loro due

corpi, una parte del lavoro consumato nel vincere l'attrito si manifesta sotto forma di *elettricità*, cioè di una attitudine che i corpi acquistano di produrre attrazioni e repulsioni, in una parola sotto forma di una energia potenziale.

Gli è principalmente dei fenomeni magnetici ed elettrici che tratteremo in questo manuale. La natura di questi fenomeni è tuttora avvolta nel mistero; però era fin da principio necessario tener parola della energia meccanica, del calore delle radiazioni, dell'affinità chimica, poichè il magnetismo e l'elettricità possono trarre origine da ognuna di queste forme di energia fisica e tramutarsi esse stesse in una qualunque di quelle, sempre con perfetta equivalenza.

CAPITOLO II.

Proprietà fondamentali delle calamite.

8. Era noto anche agli antichi che un certo ossido di ferro, cui i mineralogisti diedero il nome di *magnetite*, possiede la proprietà di attrarre il ferro. Lo si chiama comunemente *calamita* o *magnete naturale* per distinguerlo dalla *calamita artificiale* che per lo più si fabbrica mediante sbarre d'acciaio e che gode delle medesime proprietà. Esponiamone le fondamentali.

9. Attrazione magnetica. — *La calamita attrae il ferro, il nikel, il cobalto e il cromo.* Questi corpi si dicono perciò appunto *magnetici*. L'attrazione ha luogo a traverso qualsiasi corpo non magnetico; come aria, acqua, vetro, carta, muro, ecc.

Nè occorre dire che l'attrazione tra la calamita e un corpo magnetico è reciproca ed eguale. Newton anzi per verificare in un caso il suo principio che in natura *ad ogni azione corrisponde sempre una reazione eguale e contraria*,

insegnò di porre a galleggiare su due pezzi separati di sughero una calamita e un pezzo di ferro. Essi si corrono incontro; ma una volta giunti a contatto non si muovono più.

10. Poli e linea neutra. — *In ogni calamita esistono due poli ed una linea neutra.*

Se si tuffa una sbarra calamitata nella limatura di ferro, questa si attacca in maggior copia verso gli estremi (fig. 1) e punto verso il mezzo.

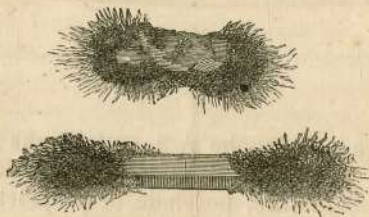



Fig. 1.

I punti ove l'azione attrattiva è massima si dicono *poli.* In certe calamite speciali oltre ai due poli verso le estremità, si trovano lungo la sbarra altri centri di massima azione attrattiva chiamati *punti conseguenti.*

11. Direzione dell'ago magnetico. — *Ogni sbarra magnetizzata sospesa liberamente pel suo centro di gravità si rivolge costantemente con una estremità verso il nord e coll'altra verso il sud.* Si chiamano perciò *polo nord* e *polo sud* i due poli di essa. Una calamita così sospesa dicesi *ago magnetico*: in pratica gli si dà per solito la forma di losanga a tinte differenti sulle due metà (fig. 2).

12. Azione reciproca dei poli. — *I poli del medesimo nome si respingono, i poli di nome contrario si attraggono.* La prova si ha facil-

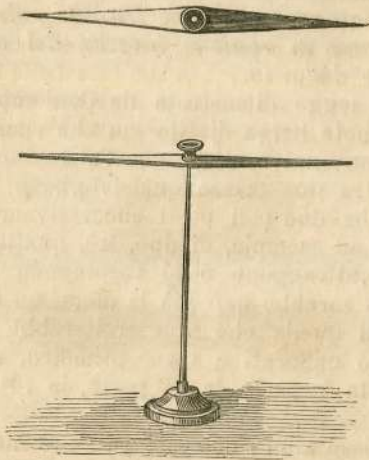



Fig. 2.

mente accostando successivamente i due poli conosciuti di una calamita qualunque ad un medesimo polo di un ago magnetico: si vede che il polo nord della prima respinge il polo nord dell'ago e ne attrae il polo sud; il polo sud della sbarra invece attrae il polo nord dell'ago e ne respinge il polo sud. Adunque mentre i poli di una stessa calamita esercitano entrambi una azione attrattiva sul ferro e sugli altri corpi magnetici, esercitano invece azioni contrarie sopra un medesimo polo di un'altra calamita. Però è soltanto

nella repulsione che si ha un criterio sicuro per giudicare se una sbarra di ferro sia magnetizzata e quale sia il senso della sua polarità.

13. Legge delle distanze. Intensità. — *Le forze attrattive e ripulsive tra due poli magnetici variano in ragione inversa del quadrato della loro distanza.*

Questa legge dimostrata da Coulomb è identica alla nota legge di Newton che risguarda la gravitazione universale, ossia l'attrazione che si esercita tra due masse qualsivogliano. Essa significa che due poli posti successivamente alla distanza, ad esempio, di due, tre, quattro centimetri si attraggono o si respingono con una forza che sarebbe non già la metà, un terzo, un quarto di quella che si eserciterebbe fra loro se fossero collocati a un centimetro, ma bensì soltanto la 4ª parte, la 9ª parte, la 16ª parte di questa.

Si capisce allora come si potrà anche parlare della *intensità* dei poli magnetici e della *quantità di magnetismo* concentrato in essi. Poichè a cagion d'esempio, si dirà che un polo ha un'intensità quadrupla di un'altro, ovvero contiene una quantità quadrupla di magnetismo, allorchè eserciteranno entrambi la medesima forza sopra un terzo polo, avendo il primo da questo una distanza doppia del secondo.

Per altro onde confrontare tra di loro le intensità di due poli magnetici si ricorre per lo più al metodo delle oscillazioni; cioè si fa oscillare un medesimo ago magnetico successivamente davanti a ciascuno di essi collocandolo alla me-

desima distanza: le intensità di quei due poli sono proporzionali al quadrato dei numeri delle oscillazioni compiute in tempi eguali.

È un metodo analogo a quello che si usa per determinare mediante le oscillazioni del pendolo l'intensità della forza di gravità nei diversi punti della terra.

14. Spezzamento d'una calamita. — *Spezzando una sbarra calamitata in due parti, le singole parti si trovano essere due calamite complete coi due poli e colla linea neutra*: dove av-

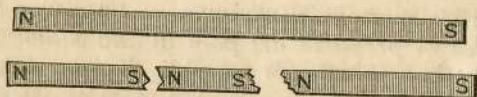



Fig. 3.

viene la rottura si trovano affacciati due poli di nome contrario che prima non si manifestavano all'esterno (fig. 3).

Lo spezzamento si può continuare sulle due calamite così ottenute sempre col medesimo risultato, per modo che non si potrebbero mai ottenere i due poli separati e qualunque particella di una calamita si troverebbe dotata di polarità per quanto piccola fosse.

È troppo ovvio di ammettere, per induzione, che anche le molecole di una calamita sieno esse stesse polarizzate e perciò un magnete si possa considerare costituito da tanti *magneti elementari* orientati, aventi cioè tutti i poli del medesimo nome rivolti dalla medesima parte (fig. 4):

in tal caso è chiaro che rimanendo fermi i due poli primitivi verso le due estremità della sbarra.

Fig. 4.

compariranno sempre due poli di nome contrario nelle parti affacciate della rottura, dovunque questa avvenga.

15. Induzione magnetica. — *Un corpo magnetico in presenza del polo di una calamita si magnetizza prendendo un polo di nome contrario nella parte più vicina alla calamita e un polo del medesimo nome nelle parte più lontana.* Il fenomeno prende il nome di *influenza* o *induzione magnetica.*

Ci affrettiamo subito a dire che il fenomeno fondamentale dell'attrazione del ferro per parte della calamita è preceduto dall'induzione, cosicchè quello sarebbe dovuto all'attrazione tra i due poli di nome contrario affacciati.

Naturalmente i corpi magnetici non si comportano al medesimo modo sotto l'induzione magnetica, sia per la quantità di magnetismo che possono ricevere, sia per quella che possono conservare al cessare dell'induzione; anzi uno stesso corpo si comporta in modo diverso a seconda dello stato di crudezza e di purezza ed anche a seconda della temperatura. In generale il magnetismo acquistato per induzione cresce

coll'intensità del polo inducente, ma non può mai oltrepassare un certo limite corrispondente alla *saturazione magnetica*.

Limitandoci al caso del ferro dolce e dell'acciaio temperato, il primo per induzione si magnetizza subito e fortemente, ma perde issofatto la calamitazione, allontanando il polo inducente; l'altro invece, a parità delle altre condizioni, si magnetizza più difficilmente, ma conserva in gran parte il magnetismo acquistato, anche al cessare dell'induzione.

L'esperimento della *catena magnetica* (fig. 5) è molto istruttivo. Una sbarretta di ferro dolce accostata al polo di una forte calamita vi rimane attaccata; una seconda sbarretta parimente di ferro dolce può essere appesa alla prima divenuta calamita temporaria per induzione; una terza può venire sorretta dalla seconda, e così via. Se non che staccando la prima sbarretta dal polo della calamita inducente, la catena si sfascia, perdendo ogni sbarretta il magnetismo che aveva acquistato.

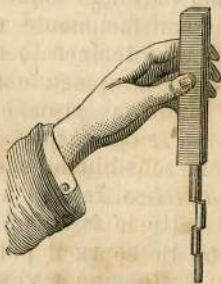



Fig. 5.

Una simile catena si può formare con aghi di acciaio, ma questa non si sfascierà così prontamente, dacchè ciascuno degli aghi conserverà in gran parte la polarità ricevuta.

16. Forza coercitiva. — Si dice che l'acciaio temperato, al contrario del ferro dolce, possiede

una *forza coercitiva* che gli impedisce così di prendere come di perdere facilmente il magnetismo. La tempera che modifica così profondamente le proprietà fisiche dell'acciaio, come ad esempio la durezza e la malleabilità, gli comunica anche cotesta forza coercitiva. Il ricuocimento che toglie all'acciaio la tempera gli toglie anche la forza coercitiva.

Si ammette che le molecole di ogni corpo semplicemente magnetico sieno già polarizzate più o meno fortemente, ma disposte alla rinfusa, e che sotto l'influenza di un polo si orientino disponendosi coi poli omonimi rivolti dalla medesima parte. Si ammette pure che nel ferro dolce possano facilmente ruotare su sè stesse, e nell'acciaio temperato nol possano che lentamente.

Così si spiega come le azioni meccaniche ed il calore favoriscano l'induzione magnetica.

17. Campo magnetico. — Ogni spazio nel quale sieno sensibili delle forze magnetiche si dice *campo magnetico*. In ciascun punto di esso la risultante di tutte le forze ha una *direzione* ed una *intensità*. Se sopra il polo di una calamita si dispone un cartoncino e vi si lascia cadere della limatura di ferro con uno staccio, in ciascun punto del campo della calamita le particelle della limatura risentono l'induzione e si dispongono secondo determinate linee, dette appunto *linee d'induzione magnetica* o *linee di forza magnetica.*

Le fig. 6 e 7 rappresentano la disposizione di coteste linee rispettivamente fra due poli magnetici di nome contrario e fra due poli del medesimo nome.

18. Processi di calamitazione. — Per calamitare una sbarra di acciaio basterebbe collo-

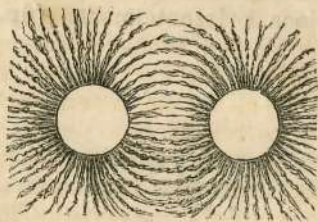



Fig. 6.

carla in un campo magnetico secondo la direzione delle linee di forza: la calamitazione riuscirà più

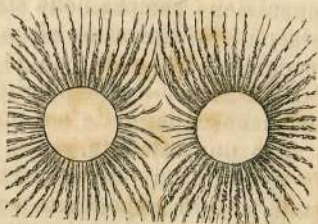



Fig. 7.

agevole percuotendo la sbarra, e tanto più forte quanto più intenso è il campo.

Ma val meglio strofinare delle calamite sopra la sbarra da magnetizzare.

Col *semplice contatto* si fa scorrere l'estremità di una forte calamita sulla sbarra da calamitarsi dall'uno all'altro capo di essa, sempre nel medesimo senso, senza arrestarsi nei punti

intermedi: all'ultima estremità abbandonata si formerà un polo di nome contrario all'inducente.

Col *contatto separato* la sbarra da magnetizzarsi si colloca orizzontalmente (fig. 8): due

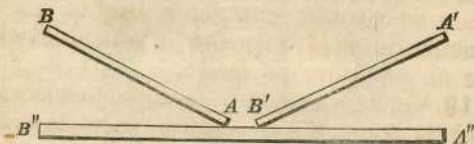



Fig. 8.

sbarre calamitate vengono appoggiate coi poli di nome contrario sul mezzo di quella, poi tirate separatamente verso le due estremità, ripetendo più volte l'operazione sempre nello stesso modo. Alle due estremità si formano rispettivamente poli di nome contrario al polo che le ha strofinate. L'operazione riesce anche meglio se queste due estremità sieno appoggiate sui poli di nome contrario di altre due calamite.

Col *doppio contatto* si fanno scorrere riuniti su e giù, sulla sbarra appoggiata come dianzi, i poli contrari di due calamite, tenuti separati da un pezzetto di legno.

Non ci sembra fuor di luogo far osservare che le forti calamite che si adoprano in questi processi non scemano d'intensità pel fatto di aver indotto il magnetismo nella sbarra sottoposta e che quindi l'energia potenziale che si viene comunicando a essa sbarra, che diventa calamita, sorge a spese del lavoro meccanico consumato nello strofinamento.

In seguito vedremo come la corrente elettrica ci offra un eccellente mezzo di calamitazione.

Notiamo intanto che l'esperienza ha dimostrato, che la magnetizzazione penetra soltanto a poca profondità entro la sbarra. Perciò val meglio formare le calamite con tante lamine d'acciaio magnetizzate separatamente e poi addossate in guisa da costituire un fascio.

19. Forza e portata. — Notiamo ancora che altro è la *forza* d'una calamita la quale dipende dalla intensità dei poli, e altro è la *portata* o *forza portativa*, la quale si misura dal rapporto tra il peso che la calamita può sostenere e quello della calamita medesima. La portata dipende non solo dalla forza magnetica della calamita, ma eziandio dalla sua forma.

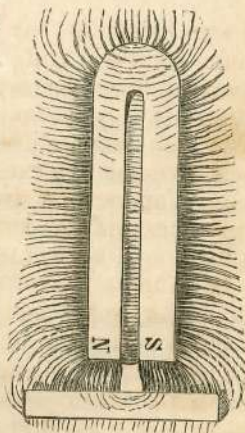



Fig. 9.

Per aumentare la portata è utile assai di dare alla calamita la forma di ferro di cavallo: così riescono vicine le due faccie polari e vi si può applicare contro un pezzo di ferro dolce detto *áncora* (fig. 9) il quale magnetizzandosi per influenza vi rimane meglio aderente e può sostenere un peso da tre a quattro volte maggiore di quello che sarebbe sostenuto da una sbarra rettilinea di egual peso.

In causa della reazione che nasce tra le superficie polari e l'áncora di ferro dolce che vi si lascia attaccata, la forza e la portata d'una calamita vanno crescendo col tempo fino a un certo limite, ma esse riprendono il valore primitivo come prima avvenga il distacco dell'àncora.

In generale poi le piccole calamite hanno una portata relativamente maggiore che non le grandi. Si narra che Newton possedesse un piccolo magnete naturale che reggeva un pezzo di ferro di un peso eguale a 200 volte il proprio.

CAPITOLO III.

Magnetismo terrestre.

---

20. Si attribuisce generalmente a Flavio Gioia d'Amalfi il merito di aver per primo introdotto nella navigazione, sul principio del secolo XIV, l'uso dell'ago magnetico ad indicare il punto cardinale nord quando manca il soccorso delle stelle. È per altro ormai fuor di dubbio che i Chinesi se ne servirono sin dal 2° e 3° secolo e gli Arabi nel 10.°

21. Bussola. — Nella *bussola marina* oggidì più in uso (fig. 10) il pernio su cui gira l'ago magnetico è fissato sul fondo d'una scatola cilindrica zavorrata e sospesa col sistema cardanico, acciocchè esso rimanga sempre verticale comunque i sostegni vengano inclinati. All'ago è fissato un disco di mica su cui è disegnata la *rosa dei venti* divisa in 32 *rombi*, in guisa che girando sul pernio insieme coll'ago, il diametro segnato NS si dirige precisamente da Nord a Sud.

Opportune masse di ferro poi collocate attorno alla bussola compensano l'azione perturbatrice

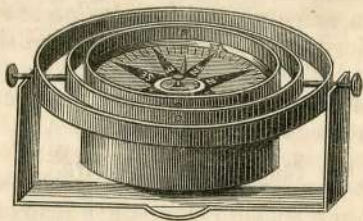



Fig. 10.

esercitata dal ferro che entra nella costruzione della nave.

22. Calamita tellurica. — Gilbert di Colchester, tre secoli or sono, attribuì alla terra stessa la proprietà di una potente calamita, avente la virtù di dirigere l'ago magnetico: virtù che dapprima era stata attribuita da taluni al sole, da altri alla stella polare, all'Orsa maggiore o alle costellazioni dello zodiaco.

L'azione che la calamita tellurica ideata da Gilbert esercita sugli aghi magnetici liberamente sospesi è puramente orientatrice. Infatti il filo che li sostiene non viene per la detta azione minimamente deviato dalla verticale; nè il magnetismo comunicato agli aghi di acciaio li fa per nulla aumentare o diminuire di peso.

23. Declinazione e inclinazione magnetica. — Colombo scoperse nel 1492 che l'ago magnetico non si dirige co' suoi poli precisamente da nord a sud, ma che la retta che li congiunge fa col

meridiano geografico un angolo, che si chiama *declinazione magnetica;* di più scoperse che cotesta declinazione varia da paese a paese. Essa può essere *orientale* od *occidentale* secondochè il polo Nord dell'ago piega verso Est o verso West.

A Milano, per es., la declinazione magnetica è attualmente occidentale, di 13°, 2′ W (1883).

Venne poi scoperta nel 1576, da Norman la *inclinazione magnetica*, cioè l'angolo che forma coll'orizzonte un ago magnetico girevole intorno ad un asse orizzontale che passa pel suo centro di gravità ed è perpendicolare all'ago di declinazione.

Un ago magnetico così disposto non sta in equilibrio in qualunque posizione, come farebbe se non fosse calamitato; ma s'inclina al basso coll'uno o coll'altro polo, di un angolo che varia a seconda dei paesi. A Milano, per es., attualmente l'inclinazione magnetica è di 62°, 4′ N., cioè l'ago d'inclinazione (fig. 11) tien rivolto in basso il polo nord e fa coll'orizzonte l'angolo predetto.

Man mano si procede verso il Nord quest'angolo cresce, finchè raggiunge il valore 90° ov'è il polo magnetico della terra. Esso fu trovato nel 1831, da sir Cross, in Boothia Felix giusto sul circolo polare artico. Procedendo al contrario verso il sud, l'angolo d'inclinazione va diminuendo finchè in prossimità dell'equatore s'annulla, vale a dire l'ago si dispone orizzontalmente. Nell'emisfero australe piega in basso il polo sud e l'angolo cresce sempre procedendo

verso le regioni antartiche. Tuttavia non venne per anco trovata la posizione del polo australe della calamita tellurica di Gilbert.

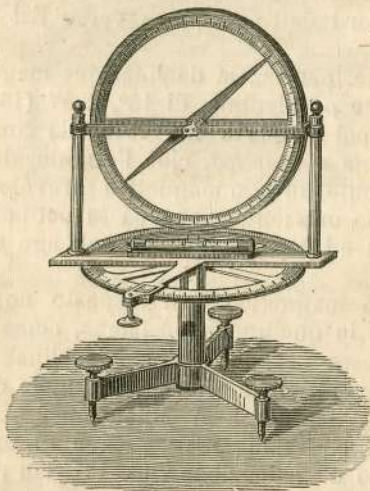



Fig. 11.

24. Distribuzione del magnetismo terrestre. — La *declinazione,* l' *inclinazione* e l' *intensità* magnetica in un dato paese ne costituiscono gli *elementi del magnetismo terrestre.* La seguente tabella contiene appunto quelli relativi all'anno 1880 per diversi paesi.

I numeri registrati nell'ultima colonna rappresentano le intensità relative a quella osservata al polo magnetico, preso per unità, quali si desumono dal numero delle oscillazioni compiute

in un medesimo tempo da uno stesso ago magnetico sotto l'influenza del magnetismo terrestre ne' diversi paesi.

Elementi del magnetismo terrestre
per l'anno 1880.

Paesi	Declinazione	Inclinazione	Intensità relativa
Boothia Felix .	Nessuna	90°. N	1.00
Londra	18°. 40′ W	67°. 40′ N	0.72
Pietroburgo . .	0°. 40′ W	70°. N	0.74
Berlino	11°. 30′ W	64°. N	0.74
Parigi	16°. 45′ W	66°. N	0.72
Roma	11°. 30′ W	60°. N	0.69
New-York . . .	7°. 47′ W		
Messico	7°. 55′ E	45°. ? N	0.74
Quito	7°. 40′ E	25°. ? N	0.54
S. Elena . . .	26°. 25′ W	28°. S	0.48
Capo di B. Speranza	30°. 2′ W	56°. 30′ S	0.55
Sidney	9°. 30′ E	62°. 45′ S	0.87
Hoberton . . .	10°. 10′ E	71°. 5′ S	0.98
Tokio	4°. 5′ W	50°. N	0.69

Se s'immaginano sul globo riuniti con una linea tutti i paesi che hanno la medesima declinazione magnetica, si ottengono le così dette *linee isogoniche*. Parimenti si ottengono le linee

Fig. 12.

isocliniche ed *isodinamiche* se si congiungono i paesi ne'quali è rispettivamente eguale la inclinazione e la intensità. L'insieme di coteste linee costituisce una *carta magnetica*. Nella fig. 12 è

rappresentata quella di sir G. Airy dell'emisfero boreale per l'anno 1880. Da essa si rileva che le linee isogoniche procedono all'ingrosso come i meridiani geografici e le isocliniche come i paralleli, riunendosi le prime nel punto ov'è situato il polo magnetico della terra. La isoclinica che passa pei luoghi ove l'inclinazione è nulla dicesi *equatore magnetico*.

È troppo manifesto il vantaggio che simili carte offrono ai naviganti per dirigere la propria rotta colla sola scorta della bussola, senza quella delle stelle.

25. Variazioni del magnetismo terrestre. — Tuttavia gli elementi del magnetismo terrestre variano anche in uno stesso luogo col tempo. Essi vanno soggetti a variazioni *secolari, diurne, annue, undecennali*, oltre a perturbazioni accidentali dovute a tempeste magnetiche.

Allorchè si principiò, nel 1580, a fare osservazioni continuate sulla declinazione magnetica, essa era orientale in Europa: divenne nulla verso il 1660; poi si fece occidentale fino a raggiungere il massimo verso il 1815; attualmente ritorna verso lo zero, accennando ad un semi-periodo di circa 300 anni.

Parimenti l'inclinazione raggiunse un massimo verso il 1720, di poi seguitò a scemare: ma attualmente va diminuendo più lentamente che non sul principio di questo secolo, il che accenna forse a toccare la fine del periodo non per anco conosciuto.

Dalla seguente tabella delle variazioni magnetiche secolari per Londra si potrà avere un'idea dell'andamento analogo per gli altri paesi d'Europa,

Tabella delle variazioni magnetiche secolari.

Anno	Declinazione	Inclinazione
1576	—	71°. 50′
1580	11°. 17′ E	—
1600	—	72°. 0′
1622	6°. 12′ E	—
1634	4°. 0 E	—
1657	0°. 0 min.	—
1676	3°. 0′ W	73°. 30′
1705	9°. 0′	—
1720	13°. 0′	74°. 42′ max.
1760	19°. 30′	—
1780	—	72°. 8′
1800	24°. 6′	70°. 35′
1816	24°. 30′ max.	—
1830	24°. 2′	69°. 3′
1855	23°. 0′	—
1868	20°. 33′	68°. 2′
1880	18°. 40′	67°. 40′

Ogni giorno l'ago di declinazione compie una escursione che non supera però i 10′ di arco. Dalle 7 del mattino il polo nord si muove verso occidente fin verso il tocco e di poi ritorna lentamente verso oriente fin verso le 10 pomerid., dopo di che d'ordinario rimane in quiete fino all' indomani. Sembra che, oltre il sole, anche la luna vi eserciti qualche influenza.

Ma coteste oscillazioni diurne non sono eguali in tutte le stagioni: esse sono più grandi nell' estate che nell' inverno, e ciò anche nell' emisfero australe.

La media annua poi non è costante neppur essa: va soggetta ad un periodo di circa 11 anni, presentando dei massimi e dei minimi in relazione coi massimi e coi minimi delle macchie osservate nel sole.

La seguente tabella che contiene i risultamenti delle osservazioni fatte in quest' ultimo ventennio servirà a porgere un'idea di questa notevole coincidenza.

Anno	Numeri di Wolf proporzionali alla estensione delle macchie solari	Media annua della escursione diurna dell'ago di declinazione a Milano
1858	54.8	7′. 71
1859	93.8	10′. 01 max.
1860	95.7 max.	8′. 05
1861	77.2	7′. 51

Anno	Numeri di Wolf proporzionali alla estensione delle macchie solari	Media annua della escursione diurna dell'ago di declinazione a Milano
1862	59.1	7′. 61
1863	44.0	7′. 26
1864	46.9	7′. 19
1865	30.5	5′. 85
1866	16.3	4′. 21 min.
1867	7.3 min.	4′. 95
1868	37.3	6′. 81
1869	73.9	8′. 78
1870	139.1 max.	11′. 52 max.
1871	111.2	10′. 70
1872	101.7	10′. 32
1873	66.3	8′. 64
1874	44.6	7′. 77
1875	17.1	5′. 78
1876	11.3	6′. 31
1877	12.3	5′. 68
1878	3.4 min.	5′. 30 min.

Anno	Numeri di Wolf proporzionali alla estensione delle macchie solari	Media annua della escursione diurna dell'ago di declinazione a Milano
1879	6.0	6'.16
1880	32.3	7'.31
1881	54.2	8'.33
1882	59.6	8'.23
1883	63.0	8'.68

Aggiungiamo che in stretta colleganza colla frequenza delle macchie del sole è pur quella delle aurore polari, di cui l'origine elettro-magnetica è ormai fuori di dubbio, sia per la natura stessa del fenomeno, dovuto a forti scariche elettriche nelle alte regioni dell'atmosfera; sia per le correnti che percorrono le grandi linee telegrafiche prima e durante le aurore. Il numero che si osserva di esse annualmente e la loro grandiosità si manifesta in perfetta coincidenza colla estensione delle macchie del sole. L'ago magnetico poi prima e durante l'aurora è in preda a forti perturbazioni.

Che più? ogni perturbazione dell'ago coincide con qualche straordinario sconvolgimento avvenuto alla superficie del sole; il che fece dire all'astronomo Wolf che l'ago magnetico fa l'ufficio del polso di quell'astro.

E non è affatto fuori di proposito il soggiun-

gere che in un tempo non molto lontano si scoprirà una relazione tra le pulsazioni dell'ago magnetico e le grandi burrasche della nostra atmosfera.

Tale è il legame tra i varî ordini di fenomeni in natura, che i piccoli movimenti di quest'umile strumento valgono a svelare le grandi eruzioni del sole! Nessun fenomeno — scrisse Bacone — dev'essere tenuto in dispregio, poichè non si può mai prevedere a quali grandi conseguenze possa un giorno condurre!

CAPITOLO IV.

Fenomeni fondamentali risguardanti l'elettricità promossa per istrofinio.

---

26. Il semplice fatto scoperto da Talete Milesio più di 20 secoli or sono, cioè che l'ambra gialla (detta dai Greci *electron*), quando venga strofinata con un panno, acquista la proprietà di attrarre i corpi leggieri, dovea, convenientemente studiato ed esteso, portare alle attuali meraviglie della illuminazione elettrica, del telefono, del telegrafo transoceanico!

Fu ancora il dott. Gilbert che nel 1600 richiamando l'attenzione sul fatto di Talete scoperse che la proprietà dell'ambra è comune anche a molti altri corpi, quali il diamante, lo zaffiro, il cristallo di rocca, il vetro, il solfo, la cera lacca, le resine, ecc. In breve si aperse un campo di vaste ricerche. Si estese sempre più la lista dei corpi *elettrici* (cioè somiglianti all'ambra); si trovò che oltre alla proprietà di attrarre i corpi leggieri, acquistano, collo strofinio, quella di

mandare una certa luce nell'oscurità, di far sentire un certo crepitio, ecc. Nel 1670 venne inventata da Ottone di Guericke la prima macchina elettrica, la quale permise di riprodurre più in grande i fenomeni elettrici.

Riassumiamo i fondamentali.

27. Elettrizzazione per strofinio diretto. — *Tutti i corpi strofinati fra loro in condizioni opportune si elettrizzano;* (si dice anche assumono lo *stato elettrico* ovvero prendono *elettricità*), acquistano cioè le proprietà suddette. Quali sieno coteste condizioni opportune apparirà da quel che segue: dirò soltanto fin d'ora che per la buona riuscita di questi esperimenti elettrici è necessario che l'aria ambiente sia sufficientemente secca. L'attrazione dei corpi leggieri si mostra facilmente strofinando una sbarra di vetro o di ceralacca con un panno o con una pelle secca e accostandola di poi a minuzzoli di carta o ad un *elettroscopio* semplice.

Fig. 13.

Questo può consistere in una paglia o in un filo metallico posto in bilico su un pernio a punta, oppure in un pendolino a pallina di midollo di sambuco (figura 13) sospesa per un filo di seta.

28. Elettrizzazione per contatto. — *L'elet-*

tricità si comunica per contatto da corpo a corpo a spese del corpo elettrizzato. La pallina di sambuco dopo che sia venuta a contatto della sbarra elettrizzata può alla sua volta attrarre un'altra pallina, oppur venir essa stessa attratta dalla mano o da un altro corpo qualunque, giacchè non bisogna dimenticare che l'attrazione fra i corpi è sempre reciproca. Dopo qualche contatto con altri corpi la pallina però avrebbe perduto la sua elettricità, sarebbe cioè tornata allo *stato naturale.*

Volendo a dirittura valersi di una notevole

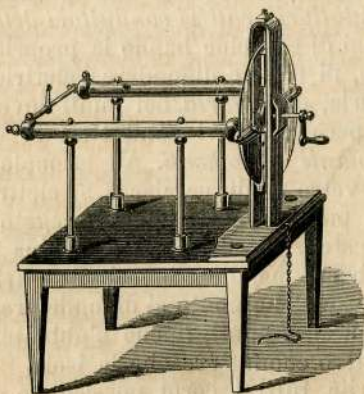



Fig. 14.

fonte di elettricità si può ricorrere alla macchina elettrica (fig. 14), di cui studieremo più avanti il vero modo di funzionare.

Basti sapere per ora che un largo disco di vetro fatto girare con una manovella intorno ad un asse che passa pel suo centro, si sfrega fra mezzo ad una o due coppie di cuscinetti di pelle imbottita di crine: l'elettricità sviluppata nel vetro si trasmette ai due cilindri metallici che nella figura si vedono appoggiati orizzontalmente sopra sostegni di vetro verticali. Una sbarra di vetro, ad es., toccando con una estremità questi cilindri, si elettrizza come se venisse direttamente strofinata.

29. Conduttori e coibenti. Diselettrizzazione. — *I corpi si dividono in due grandi classi: buoni conduttori e cattivi conduttori della elettricità ;* taluni di essi cioè hanno la proprietà, come pel calore, di lasciar diffondere l'elettricità, altri di arrestarla, di *isolarla* nei punti dove si è sviluppata: però i cattivi conduttori si chiamano anche *isolanti* o *coibenti.* Ad esempio, un bastone di vetro o di ceralacca si elettrizza soltanto nei punti ove sia stato sfregato o dove abbia toccato i cilindri della macchina elettrica. Su una sbarra metallica invece l'elettricità sviluppata in qualche punto si diffonde prestamente in tutti gli altri punti, finchè s'abbatterà in un corpo cattivo conduttore che la isola.

Per verità tutti i corpi possiedono in grado più o meno elevato la facoltà di dar passaggio all'elettricità; però è forse meglio dire che essi oppongono al detto passaggio una *resistenza* più o meno grande. Ecco pertanto come si potrebbero classificare alcuni corpi in ordine della loro resistenza crescente.

Buona conduttività ossia poca resistenza:

Argento, rame, oro, zinco, ferro, platino, mercurio, carbone, soluzioni acide e saline, acqua (e corpi umidi), il suolo.

Mediocre conduttività ossia mediocre resistenza:

Animali viventi, piante, cotone, legno secco, marmo, carta.

Poca conduttività ossia grande resistenza:

Olii, porcellana, lana, seta, resine, gutta-percha, cera-lacca, ebanite, paraffina, vetro, aria secca.

Da questo quadro si capisce subito perchè la sufficiente secchezza dell'aria ambiente sia una condizione necessaria alla buona riuscita degli esperimenti elettrici; altrimenti la umidità porterebbe via dai corpi l'elettricità.

Si capisce anche come prima del sig. Gray, che scoperse questo fatto nel 1729, i fisici avessero chiamato *non elettrici* i metalli; perchè strofinando un bastone di metallo tenuto in mano, non presentava, come un bastone di vetro, segni di elettricità: è chiaro che questa si diffondeva per la mano e pel corpo al suolo.

Anzi è appunto questo il modo di diselettrizzare un corpo conduttore: toccarlo in un punto qualunque colla mano o con qualunque altro conduttore che sia in comunicazione col suolo; l'elettricità si diffonde e si disperde, per così dire, sull'immensa superficie del globo terracqueo.

Il corpo degli animali viventi si comporta come un altro conduttore qualunque. È noto che il dorso

d' un gatto accarezzato a contropelo manda al buio la luce pallida caratteristica dei corpi elettrizzati. Una persona che si colloca sullo *sgabello isolatore* (uno sgabello coi piedi di vetro) e tocchi con una mano i cilindri conduttori d'una macchina elettrica in azione presenta segni elettrici in tutti gli altri punti del corpo. Se invece si appoggia al suolo direttamente, o per mezzo di un corpo conduttore, non solo non manifesta segni elettrici essa persona, ma cessa di darne anche la macchina elettrica colla quale comunica.

30. Due specie di elettricità. Loro azione reciproca. Elettroscopio. — *Ci sono due specie di elettricità: vitrea* o *positiva, resinosa* o *negativa; i corpi elettrizzati del medesimo nome si respingono, quelli di nome contrario si attraggono.*

Il fatto fu scoperto da Dufay nel 1733.

Al posto della pallina di sambuco sostenuto dal filo di seta (isolante) nel pendolino della figura 13 immaginiamo sostituita una staffa sulla quale sia appoggiata una asticella di vetro; e su un altro sostegno simile sia appoggiata una asticella di gutta-percha. Finchè le asticelle non saranno elettrizzate, esse verranno indifferentemente attratte da qualsiasi corpo elettrizzato. Ma come prima siano state esse medesime strofinate con un pannolano, verranno bensì entrambe attratte dalla mano che vi si accosti, ma si comporteranno in contrario modo accostandovi un corpo elettrizzato qualunque. Vale a dire, un corpo elettrizzato che attraesse l'asticella di vetro re-

spingerebbe quella di gutta-percha e viceversa: e propriamente se si trattasse di un bastone di vetro e di uno di gutta-percha stati entrambi sfregati con un pannolano, il primo respingerebbe l'asticella sospesa di vetro elettrizzato ed attirerebbe quella di gutta-percha; il secondo invece respingerebbe questa ed attirerebbe quella: le due asticelle poi si correrebbero incontro.

Adunque l'elettricità svolta col pannolano sul vetro è opposta a quella svolta sulla gutta-percha, ed è chiaro quale sia la azione reciproca di due corpi elettrizzati.

Nel fatto della attrazione del pendolino (§ 27) la pallina di sambuco una volta venuta a contatto del corpo elettrizzato viene respinta, e acciocchè venga di nuovo attratta è necessario diselettrizzarla toccandola. Anche quì, come nel magnetismo, la sola repulsione fornisce il criterio sicuro per giudicare se un corpo sia elettrizzato, e di quale specie.

Meglio che i semplici elettroscopi servono gli elettroscopi *a due pagliuzze* o *a due foglie d'oro.* Queste sono sospese sotto una campana di vetro all'estremità di un'asticella di ottone (fig. 15) isolata che sporge fuori dal collo della campana e termina con una palla pure di ottone.

Comunicando a detta palla una debole carica di elettricità, questa si diffonde alle fogliette d'oro o nelle pagliuzze, le quali elettrizzandosi similmente, si respingono.

Se al posto delle due fogliette d'oro se ne sostituisce una] sola e se le due estremità *a* e *b* delle due colonnette laterali si mantengono co-

stantemente cariche di elettricità contrarie (ponendovi due pile secche, come vedremo), quella foglia d'oro starà in equilibrio, finchè si trovi allo stato naturale; ma come prima venga toccata da un corpo anche debolmente elettrizzato, essa verrà attratta dall'estremità elettrizzata di nome contrario, mostrando così anche la specie della elettricità ricevuta. Per conservare l'aria secca intorno all'elettroscopio si suole tenere sotto la campana dei pezzetti di calce viva che si rimutano di tratto in tratto.

Fig. 15.

31. Legge delle azioni elettriche. — Quantità. — *Le attrazioni e ripulsioni elettriche variano in ragione inversa del quadrato delle distanze.*

Questa legge fu dimostrata, come per le azioni magnetiche, da Coulomb colla *bilancia di torsione* (fig. 16): corpi elettrizzati che agivano uno sull'altro erano sempre

Fig. 16.

piccole sfere conduttrici isolate e le distanze venivano contate tra i loro centri.

La parte mobile dell'apparecchio era costituita da un' asticella isolante la quale portava ad una estremità la sferetta elettrizzata *n* ed era sostenuta da una staffa attaccata ad un filo metallico lungo e sottile; questo torcendosi di un angolo più o meno grande faceva equilibrio colla sua elasticità alle forze elettriche attrattive o ripulsive, cui era soggetta la predetta sferetta per parte di altra sferetta elettrizzata e fissa *m*.

Anche quì, analogamente che pei poli magnetici, si riterranno possedere la medesima *quantità* o *carica* di elettricità due corpi che a parità di distanza esercitino la medesima forza sopra un terzo corpo: possiederà una carica *quadrupla* quello dei due che eserciterà una medesima forza a distanza *doppia: nonupla* se a distanza *tripla*, ecc.

32. Origine simultanea delle due elettricità — *Le due elettricità si sviluppano sempre contemporaneamente e in quantità equivalenti.*

Ogniqualvolta si sfregano tra loro due corpi quali si vogliano, uno di essi prende elettricità positiva, l' altro negativa. Si sfreghino uno sull'altro due dischi coperti l'uno di panno e l'altro di ceralacca e poi si accostino separatamente all' elettroscopio di Bohnenberger (a una sola foglia d' oro): vi porterà elettricità positiva il primo, negativa il secondo. Accostandoveli riuniti, la foglia dell'elettroscopico non si muoverà. Se al disco coperto di ceralacca si sostituisce un disco di vetro, questo sfregato contro il panno

porterà all'elettroscopio elettricità positiva; il panno, questa volta, elettricità negativa. E ancora accostando i due dischi riuniti, non si avranno segni all'elettroscopio: le azioni delle due elettricità contrarie sono perfettamente equivalenti.

La specie poi di elettricità che un determinato corpo prende nello strofinio non è sempre la medesima, come s'è visto dianzi per il panno, ma essa dipende dalla natura di ambi i corpi che si sfregano e propriamente dal loro stato fisico superficiale.

Ad esempio, i corpi che seguono sono ordinati in guisa che uno qualunque di essi si elettrizza positivamente quando si strofina con uno di quelli che lo seguono nella serie. *Pelle di gatto, vetro liscio, lana, vetro scabro, resine, ceralacca, solfo, gutta-percha, metalli.*

33. L'ELETTRICITÀ SUI CORPI CONDUTTORI. — *Nei corpi conduttori l'elettricità si porta tutta alla superficie*, ossia *nell'interno dei corpi conduttori le azioni elettriche sono nulle.*

In prova di questa proprietà basterebbe notare che le misure di Coulomb riescono sempre allo stesso modo, siano le sferette elettrizzate fatte di metallo cavo o massiccio, o siano semplicemente di legno ricoperto da una sottile foglia metallica.

Però di questo fatto importantissimo si suole recare molte altre prove, ad esempio, quella della sfera cava di Coulomb, del pozzo di Beccaria (fig. 17), della berretta di Faraday. Si carica di elettricità una sfera conduttrice isolata che presenta un foro, ovvero una rete metallica isolata

e piegata in forma di cilindro di sufficiente altezza e poi si toccano ora dentro ora fuori con un *piano di prova*, cioè con un dischetto me-

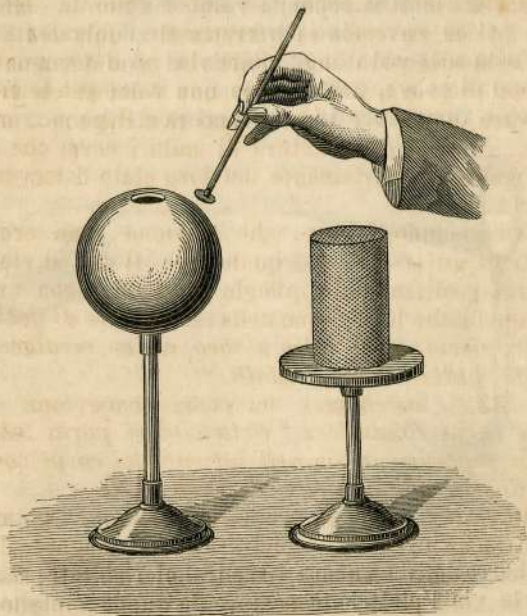



Fig. 17.

tallico fissato all'estremità di un'asticella isolante, il quale si porta ogni volta all'elettroscopio. Quando il contatto col corpo elettrizzato avviene sulla superficie esterna della sfera o del cilindro, l'elettroscopio dà segni elettrici; se esso avviene sulla superficie interna, la foglia dell'elettroscopio rimane immobile.

Parimenti si carica di elettricità una berretta di mussolina isolata (fig. 18), si tocca dentro e fuori col piano di prova e questo porta all'elettroscopio elettricità la seconda volta, ma non la prima. Se poi si rovescia la berretta tirandola col filo di seta attaccato nell'interno al suo vertice, il piano di prova, portato ciascuna volta all'elettroscopio dopo aver toccato ancora dentro e fuori

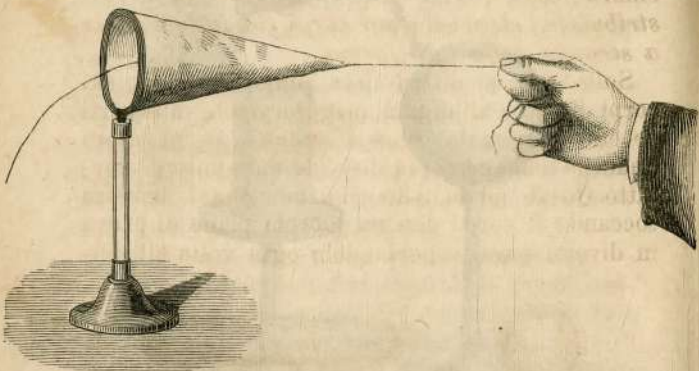



Fig. 18.

la berretta, dà ancora i medesimi risultati; cioè porta via l'elettricità sempre da quella superficie che rimane all'esterno.

Lo stesso Faraday fe' costrurre una gabbia metallica isolata che elettrizzava fortemente mettendola in comunicazione con una macchina elettrica. Or bene, mentre stando di fuori se ne traevano grandiosi fenomeni elettrici, una persona che stava dentro non ne cavava il menomo segno.

Si sogliono perciò ricoprire i delicati apparecchi di misura elettrica con involucri metallici per difenderli dalle azioni esterne.

Altri poi aveva proposto, in base a questo fatto, di difendere le case dal fulmine costruendo tutt'intorno ad esse una specie di rete metallica a maglie rare.

34. Distribuzione della elettricità. Proprietà delle punte. — *Il modo con cui si distribuisce l'elettricità sui corpi conduttori varia a seconda della loro forma.*

Sulla sfera si distribuisce uniformemente; sui corpi di forma allungata, maggiormente sulle parti eccentriche; su due sfere a contatto, in maggiore quantità nelle parti più discoste dal punto di contatto. Questo modo di distribuzione che si dimostra toccando il corpo con un piccolo piano di prova in diversi punti e portandolo ogni volta all'elet-

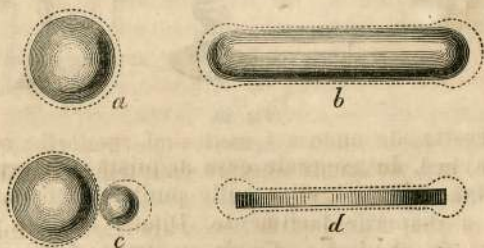



Fig. 19.

troscopio, è rappresentato dalla figura 19, colle linee punteggiate, le quali indicano, per così dire, la grossezza dello strato superficiale della elet-

tricità, o più propriamente la sua *densità* nei diversi punti.

Collo stesso piano di prova si dimostra che all' estremità degli assi d' un ellissoide, l' elettricità ha una densità proporzionale agli assi medesimi; che nei dischi ha agli orli una densità tripla che verso il centro; che negli angoli del cubo l' ha ben quadrupla che nel mezzo delle

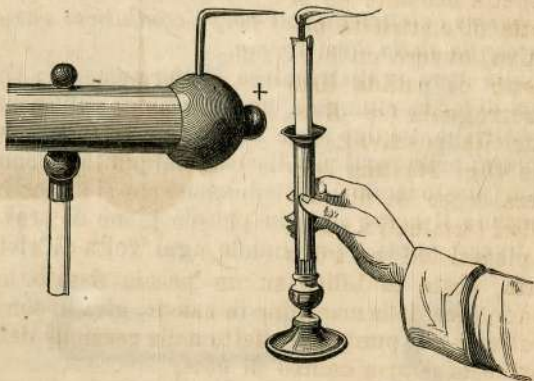



Fig. 20.

facce, ecc. In generale essa acquista una grande densità sugli spigoli e sulle punte, tanto che di qui si disperde facilmente. Difatti intorno alla punta le particelle d' aria vengono fortemente attratte, elettrizzate e poi vivamente respinte, a guisa, direi, d' altrettante minutissime palline di sambuco.

Questa ressa delle particelle d'aria intorno alla punta per diselettrizzarla dà origine ai curiosi

fenomeni del *soffio elettrico*, del *fiocchetto* e della *stelletta*, e dell'*arganetto elettrico*.

Una punta che sta sul conduttore d'una macchina elettrica in azione fa piegare la fiamma d'una candela (fig. 20); sulla stessa punta nell'oscurità si osserva una stelletta brillante se si tratta di elettricità negativa, ovvero un fiocchetto di pallida luce azzurrognola (se di elettricità positiva); infine (fig. 21) una leggiera croce di fili metallici terminati a punta e piegati ad angolo retto, posta in bilico su un pernio fissato sul conduttore della macchina in azione, gira in senso contrario alle punte per effetto della reazione delle particelle d'aria contro di esse.

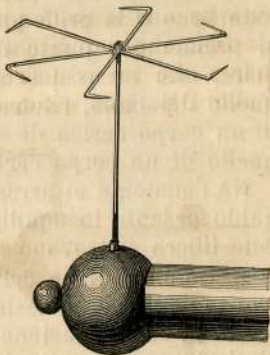



Fig. 21.

35. Potenziale. Capacità. — Ma prima di procedere più oltre vediamo come debba essere considerato un corpo carico di elettricità. Qualunque sia l'essenza misteriosa di questa proprietà, per noi un corpo elettrizzato rappresenta una somma di energia disponibile o potenziale, come potrebbe essere quella di una massa d'acqua raccolta ad una certa altezza.

E in quella maniera che l'energia di quest'acqua è proporzionale e alla sua massa e alla altezza del suo livello, ossia alla grandezza del

salto ch' essa può fare, così l'energia di un corpo elettrizzato dipende e dalla sua *carica* e dal suo *potenziale* o *livello elettrico.*

Parimenti, come per misurare l' altezza delle montagne o la profondità dei pozzi delle miniere si prende per punto di partenza il livello del mare, così si assume per livello elettrico *zero* quello del suolo, ritenendo positivo il potenziale di un corpo carico di elettricità vitrea, negativo quello di un corpo carico di elettricità resinosa.

Nè l'analogie si arrestano quì. Come in un liquido pesante in equilibrio i punti della superficie libera si trovano tutti al medesimo livello, così i punti di un corpo carico d' elettricità si trovano tutti al medesimo potenziale. Come mettendo in comunicazione tra loro un numero qualsiasi di vasi, un liquido sale in tutti al medesimo livello qualunque sia la loro forma; così facendo comunicare tra loro più conduttori elettrizzati o no, l' elettricità prenderà su tutti il medesimo potenziale: che sarà zero per tutti se comunicano col suolo. Tuttavia la quantità di liquido contenuto in ciascuno dei predetti vasi comunicanti, dopo raggiunto l'equilibrio, dipende dalla loro forma, dalla loro capacità. Ebbene, anche i conduttori al medesimo potenziale prendono una quantità di elettricità, una carica, proporzionale alla loro *capacità.* A cagion d'esempio, per le sfere si trova che le capacità elettriche sono proporzionali ai rispettivi raggi.

Il concetto di potenziale elettrico trova analogia anche in quello di pressione nei gas e in quello di temperatura. Condizione necessaria pel

movimento dei liquidi, pel movimento dei gas, pel movimento del calore si è la differenza di livello, di pressione, di temperatura. Condizione necessaria pel movimento, per lo scambio dell'elettricità tra i corpi è il dislivello elettrico, ossia la differenza di potenziale.

CAPITOLO V.

Induzione elettrostatica.
Macchine elettriche. Scarica e corrente elettrica.

---

36. Campo elettrico. Induzione. — Un corpo elettrizzato determina intorno a sè uno spazio, entro il quale gli altri corpi vengono modificati nel loro stato elettrico. Cotesto spazio si dice *campo elettrico* e la modificazione subita dal corpo collocato entro un campo elettrico si dice *influenza* o *induzione*.

Si chiama poi corpo *inducente* il corpo elettrizzato che esercita l' influenza, *indotto* quello che la risente.

Anche qui riassumiamo i fatti principali.

1.° *Un corpo conduttore isolato in presenza di un corpo elettrizzato si elettrizza di nome contrario nella parte affacciata, del medesimo nome nella parte più lontana: i due stati elettrici sono separati da una linea neutra.*

Posto che il corpo inducente *A* (fig. 22) sia caricato positivamente, il corpo indotto si cari-

cherà negativamente in B e positivamente in C, mentre si conserverà allo stato neutro verso il mezzo. Il segno della elettricità si può esplorare con pendolini attaccati sul corpo indotto ai quali s'accostino il vetro o la ceralacca strofinati col pannolano; oppure ancora col piano di prova.

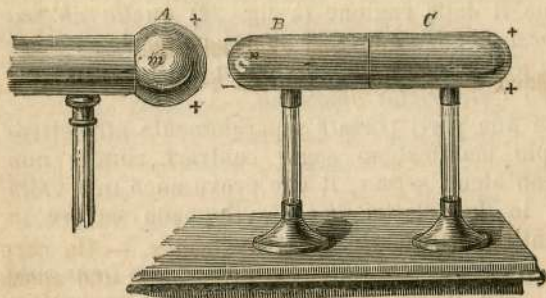



Fig. 22.

Ma val meglio servirsi della *polvere elettroscopica*, cioè d'un miscuglio di minio e solfo finamente polverizzati, che viene projettato con un soffietto a traverso un velo sui corpi elettrizzati. I granellini delle due polveri, confricandosi fra loro e coi fili del velo, si elettrizzano di nome contrario: il minio diventa positivo e si deposita nella regione B; il solfo diventa negativo e ricopre il corpo A e la regione C.

2.° *Scompare ogni segno elettrico scaricando il corpo inducente, oppure allontanando il corpo indotto.*

3.° *Se al primo conduttore isolato se ne fa seguire un secondo, un terzo, ecc., tutti si elet-*

trizzano come il primo; ma ogni segno scompare scaricando o allontanando il corpo inducente.

Questo fatto rammenta quello della catena magnetica.

4.° *Se mentre dura l'induzione si scompone il corpo indotto in due parti* (separando la regione *B* dalla regione *C*, fig. 22) *quella ch' era affacciata all' inducente rimane stabilmente carica di elettricità contraria; la più lontana conserva l' elettricità omonima.*

Le due parti portate separatamente all'elettroscopio manifestano segni contrarî, riunite non danno alcun segno, il che prova anco una volta che le due elettricità si sviluppano sempre in quantità equivalente.

5.° *Se mentre dura l'induzione, si tiene solo per poco tempo il corpo indotto in comunicazione col suolo, esso rimane tutto carico permanentemente di elettricità contraria all'inducente.*

Basta toccare col dito il corpo *B C* in un punto qualunque per qualche istante: esplorandolo di poi colla polvere elettroscopica, esso si ricopre tutto di minio. Del resto questo fatto è manifestamente un caso particolare del precedente, giacchè durante il contatto, corpo conduttore e suolo formano un solo corpo indotto, di cui il suolo è la parte più lontana: corpo indotto che poi viene separato in due parti.

6.° *Se il corpo indotto è armato di punta nella parte affacciata al corpo inducente, rimane tutto carico di elettricità omonima all' inducente.*

Il fatto si spiega facilmente rammentando la proprietà delle punte (§ 34): l'elettricità di nome contrario, che si aduna con grande densità sulla punta, si scarica sull'inducente neutralizzando una parte della sua carica e intanto sorge una equivalente carica omonima nel corpo indotto.

Che se il corpo indotto armato di punta si mettesse in comunicazione col suolo, sarebbe tanta la quantità di elettricità contraria che si scarica dalla punta, che il corpo inducente ne verrebbe tosto neutralizzato. Questo fatto è importante per l'applicazione ai parafulmini.

7.° *L'induzione si esercita a traverso qualsiasi corpo coibente, non già a traverso i conduttori di conveniente estensione.*

Se fra *A* e *B* (fig. 22) si colloca un corpo coibente, come vetro, solfo, paraffina, olio di trementina ecc., i fenomeni precedenti si verificano ancora. Interponendo invece una lastra conduttrice essi si manifestano sempre più deboli quanto più la lastra è estesa; cessano del tutto se essa è in comunicazione col suolo. Faraday trovò che l'azione induttrice a distanza viene trasmessa appunto per mezzo delle particelle del corpo coibente, le quali si polarizzano e si dispongono secondo certe *linee di forza*, analoghe a quelle presentate dalle particelle di limatura di ferro in un campo magnetico.

Faraday perciò propose di chiamare *dielettrici* i coibenti, per analogia coi corpi *diafani* per la luce, per indicare che danno passaggio alle azioni elettriche, al contrario dei corpi conduttori, che si comportano come i corpi opachi.

Anzi egli trovò che i diversi dielettrici hanno un *potere induttivo specifico*, vale a dire che, a parità di grossezza nello strato del coibente interposto, i fenomeni d'induzione sono più o meno cospicui a seconda della natura di esso. Così, per esempio, il solfo avrebbe un potere induttivo più grande della ceralacca; questa maggiore del vetro, e l'aria più piccolo di tutti.

37. Colla scorta dei fatti precedenti possiamo ora renderci ragione del modo di funzionare degli elettroscopi e della macchina elettrica.

Elettroscopi. — Il fenomeno fondamentale dell'attrazione dei corpi leggieri è preceduto dall'induzione. Ad esempio, il bastone di vetro *c* (figura 23) elettrizzato positivamente induce elettricità negativa nella parte affacciata *a* della pallina di sambuco, e positiva nella parte più lontana *b*: l'attrazione è dovuta all'azione reciproca delle due elettricità contrarie.

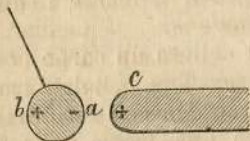



Fig. 23.

Se le due foglie dell'elettroscopio (vedi fig. 15) sono state caricate di elettricità positiva, accostando alla palla esterna (senza toccarla) un corpo carico negativamente, le due foglie divergenti si avvicinano alcun poco tra loro, perchè essendo esse la parte più lontana del corpo indotto che formano insieme colla palla, si elettrizzano pure negativamente. Per la stessa ragione crescerebbe la loro divergenza, ove si accostasse alla palla esterna un corpo carico di elettricità positiva.

Nell'elettroscopio a una sola foglia d'oro, que-

sta devia per induzione caricandosi tosto di elettricità omonima a quella del corpo avvicinato (senza toccarla) alla palla esteriore.

Negli *elettrometri* un ago metallico, a cui si dà una carica costante di elettricità, è sospeso simmetricamente fra due conduttori isolati. Finchè questi si trovano al medesimo potenziale elettrico, l'ago sta fermo; ma come prima si provochi tra quelli un dislivello elettrico, l'ago soffre una deviazione proporzionale alla differenza dei potenziali dei due conduttori.

38. Macchina elettrica a strofinio. — La prima macchina elettrica di ottone di Guericke consisteva in un globo di solfo che con una mano si faceva girare intorno a un asse mediante una manovella, coll'altra si strofinava. Ben presto si sostituì al solfo il vetro, al globo la forma più comoda di cilindro e di disco. Una delle forme più usate è quella rappresentata nella figura 14 (vedi retro § 28).

Consiste in un disco girevole di vetro che passando in mezzo a due coppie di cuscinetti diametralmente opposti, per solito fatti di pelle imbottita di crine, si strofina e si elettrizza positivamente, mentre i cuscinetti si caricano di elettricità negativa. Questi possono essere compressi, per mezzo di opportune molle, contro il vetro e sono spalmati comunemente di una amalgama composta di una parte di zinco con una parte di stagno e due di mercurio; di più possono essere posti in comunicazione colla terra, per mezzo di una catena metallica, per disperdere l'elettricità negativa.

Il disco di vetro tra le due coppie di cuscini è abbracciato da due mascelle, cioè da due aste metalliche piegate ad U, poste secondo il diametro perpendicolare a quello dei cuscinetti, le quali sono congiunte ad una estesa superficie metallica, detta il *conduttore*, sorretta da sostegni di vetro, verniciato di gomma, che lo isolano. Le mascelle che abbracciano il disco sono munite all'interno di punte metalliche. Però quando il vetro uscendo elettrizzato da una coppia di cuscini passa fra mezzo e vicinissimo a coteste punte, avviene il 6° fatto dell'induzione (§ 36); vale a dire il vetro viene da esse neutralizzato, mentre il conduttore rimane carico di elettricità positiva. Seguitando a ruotare, il disco ripassa fra i cuscini dove si elettrizza da capo, di poi fra le punte della successiva mascella, dove da capo si neutralizza, suscitando nel conduttore una nuova carica di elettricità positiva, e così via. Laonde, ruotando il disco per qualche tempo, potremo accumulare sul conduttore una notevole quantità di elettricità; non però indefinitamente, poichè crescendo il potenziale elettrico del conduttore, non andrà molto che il guadagno sarà eguale alla perdita fatta a traverso l'aria e ai sostegni.

Accenniamo di volo alla macchina idro-elettrica di Armstrong. Consiste in una caldaia a vapore isolata (fig. 24), dalla quale il vapore sotto forte pressione si può far uscire da un tubo ritorto di legno *K*. Esso condensandosi in parte e sfregandosi contro il legno si carica fortemente di elettricità positiva. Il getto di vapore così

elettrizzato viene a battere contro le punte metalliche di un pettine *V* comunicante con un

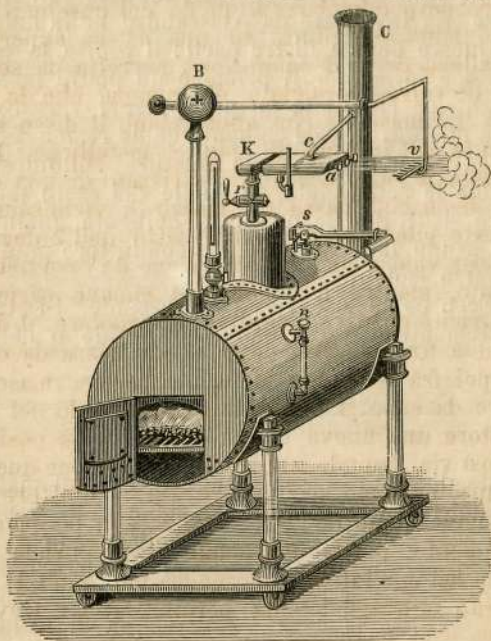



Fig. 24.

conduttore isolato *B*, il quale si carica anche quì positivamente per effetto d'induzione.

Questa macchina elettrica appartiene al genere delle macchine a strofinio: quì è l'energia calorifica che si trasforma in energia elettrica; là

invece è l'energia muscolare di chi fa ruotare il disco.

39. Elettroforo. — Un altro genere di macchine sono le *elettroforiche*, fondate sull'*elettroforo* già inventato da Alessandro Volta nel 1775.

Questo consta di tre parti: il *piatto*, la *schiacciata* e lo *scudo*. Il primo è un piatto metallico cogli orli rivolti in su per potervi versare fusa una mistura di vari coibenti, come resina, gomma lacca, trementina; tale mistura solidificandosi forma la schiacciata, la quale del resto può essere sostituita da un disco coibente qualunque. Lo scudo infine è un disco conduttore munito di manico isolante.

Ecco come si carica l'apparecchio. Si strofina fortemente con un pannolano caldo o con una

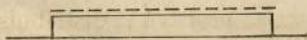



Fig. 25.

pelle di gatto la schiacciata messa sul piatto, il quale trovasi in comunicazione colla terra: il coibente si carica così di elettricità negativa (fig. 25). Si adagia allora lo scudo sulla schiacciata: esso verrà a toccare effettivamente la schiacciata in pochi punti; nel resto deve

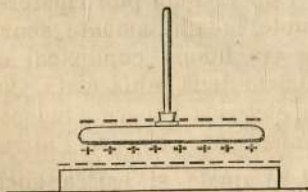



Fig. 26.

considerarsi come un conduttore isolato in presenza di un corpo elettrizzato (§ 36, 1°). Si carica

perciò di elettricità positiva sulla faccia inferiore, di negativa sulla superiore (fig. 26). Si tocca di poi questa faccia col dito (§ 36, 5°): l'elettricità omonima negativa si disperde nel suolo (fig. 27). Finalmente si alza lo scudo pel manico isolatore

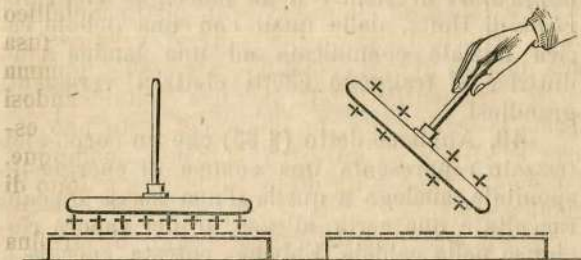



Fig. 27. Fig. 28.

(fig. 28); la carica positiva si distribuisce su ambe le facce dello scudo e si può comunicare ad altri corpi.

Volendo avere una nuova carica si riadagia lo scudo sulla schiacciata, si ritocca col dito, si rialza e si scarica. E l'operazione può ripetersi tante volte quante si vuole, indefinitamente, senza che venga consumata (in buone condizioni di ambiente) la carica iniziale della schiacciata. Quì si converte in energia elettrica l'energia muscolare che bisogna spendere per vincere l'attrazione reciproca delle due contrarie elettricità, allorchè si opera il distacco dello scudo dalla schiacciata.

Questa manovra dell'adagiare lo scudo sulla schiacciata, di farlo comunicare colla terra, di

sollevarlo, può essere fatta automaticamente con convenienti disposizioni meccaniche, in guisa da rendere praticamente continua la produzione di queste cariche indotte. Tale è appunto il concetto degli *elettrofori continui* di Bennet, dei *duplicatori* di Belli e delle *macchine elettroforiche* di Holtz, dalle quali con una debole carica iniziale comunicata ad una lamina conduttrice si traggono effetti elettrici veramente grandiosi.

40. Abbiamo detto (§ 35) che un corpo elettrizzato rappresenta una somma di energia disponibile, analoga a quella d'una massa d'acqua raccolta a una certa altezza, o del vapore rinchiuso nella caldaia. Ebbene, cotesta energia si rende attuale quando si effettua la *scarica* del corpo elettrizzato.

41. Scarica convettiva. — Girando il disco d'una macchina elettrica il potenziale sul conduttore va crescendo; ma dopo un certo limite rimane costante anche continuando a girare il disco; oppure se si cessa di girare, il conduttore va perdendo a poco a poco la sua carica. È questa la scarica *silenziosa* o *convettiva*, che avviene per l'attrazione e successiva ripulsione delle particelle d'aria circostante, segnatamente intorno alle parti angolose e puntute del conduttore, dove l'elettricità si accumula con maggiore densità e dove, al buio, si manifesta anche il fenomeno luminoso del fiocchetto e della stelletta.

Questa forma di scarica può paragonarsi al traboccare di un liquido dagli orli del vaso o alle

fughe del vapore da qualche cucitura mal connessa della caldaia. In tal caso l'energia potenziale elettrica si trasforma in movimento effettivo delle particelle dell'aria e parte anche in luce.

42. Scarica esplosiva. — Ma quando al conduttore elettrizzato della macchina si avvicina un altro corpo, per esempio la nocca del dito, appare su questo, per induzione, elettricità negativa, la quale, alla sua volta attraendo la positiva del conduttore, la fa accumulare nelle parti affacciate alla nocca; intanto lo strato interposto dell'aria subisce una pressione sempre più crescente, finchè la sua resistenza cede, e scocca la *scintilla elettrica*. Così avviene la *scarica esplosiva* del conduttore.

La *distanza esplosiva* ossia la grossezza dello strato d'aria traforato, a parità di condizioni, è tanto maggiore (entro certi limiti) quanto maggiore è la differenza di potenziale, ossia il dislivello elettrico dei corpi tra i quali scocca la scintilla.

Il calore e la luce della scintilla rappresentano l'energia elettrica posseduta dal corpo elettrizzato: essa è l'effetto della incandescenza delle particelle d'aria e di minutissime particelle che vengono strappate dalle superficie affacciate dei corpi tra i quali avviene la scarica. La scintilla difatti che scocca in seno al gas illuminante mescolato coll'aria lo accende; fa combinare l'ossigeno coll'idrogeno a formare l'acqua e l'idrogeno col cloro a formare l'acido cloridrico. Una serie di scintille elettriche che scoccano in una

massa d'aria limitata ne trasforma l'ossigeno in ozono, il quale si palesa con un odore agliaceo particolare. Se l'aria è convenientemente umida, dall'ossigeno e dall'azoto mescolati nell'aria forma l'acido azotico. Infine una grossa scintilla può accendere l'alcool, una massa di polvere pirica, ecc.

La distanza esplosiva della scarica si misura collo *spinterometro* (fig. 29), formato da due asti-

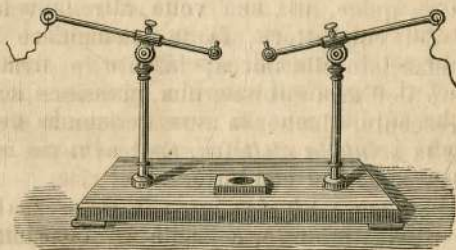



Fig. 29.

celle metalliche isolate, le cui estremità affacciate, terminanti per solito con due sferette, si possono a piacimento avvicinare od allontanare. Mettiamo in comunicazione un ramo dello spinterometro col conduttore della macchina elettrica (elettricità positiva) e l'altro ramo colla catena che congiunge fra loro i due cuscini (elettricità negativa) e poi facciamo agire la macchina. Tra le sferette delle spinterometro scoccherà una scintilla, non appena il dislivello elettrico tra esse abbia raggiunto un valore sufficiente per poter vincere la resistenza dello strato d'aria interposto. Se la macchina continua ad agire, ad una

prima scintilla ne succederà una seconda, una terza... e gli intervalli fra una e l'altra saranno tanto più piccoli quanto più breve è la distanza esplosiva; finchè avendo ridotte vicinissime le due sferette, le scintille si succederanno così frequenti da formare un tratto continuo di luce. Allora si ha la *scarica per corrente.*

43. Corrente elettrica. — Questa *corrente elettrica* continua sempre attraverso i conduttori (*reofori*) anche quando le due sferette vengono portate a contatto; ma allora l'energia elettrica, non più sotto forma di scintilla, ma si manifesta nei reofori con effetti calorifici, chimici e magnetici, che studieremo più avanti, quando avremo imparato a conoscere altri apparecchi più opportuni per generare la corrente elettrica.

44. Scarica nei gas rarefatti. — In luogo di avvicinare le sferette dello spinterometro, la scarica continua si può ottenere anche col diminuire man mano la resistenza dello strato d'aria interposto, lasciando costante la loro distanza. Chiudiamo le due sferette dello spinterometro entro un recipiente di vetro munito di opportuna chiavetta (fig. 30) per potervi rarefare l'aria mediante la macchina pneumatica. Posti in comunicazione i due rami dello spinterometro coi reofori della macchina e facendo girare continuamente il disco, le scintille si succedono sempre più rapide (ancorchè le sferette conservino sempre tra loro la medesima distanza) man mano che l'aria si va rarefacendo entro il recipiente; in seguito esse scintille vanno dilatandosi sempre più, divenendo pallide di tinta e nebulose di

forma, finchè occupano pressochè tutto il recipiente a guisa di *uovo elettrico:* effetto e segno della corrente, dovuto all' incandescenza dello strato d'aria interposto, la cui resistenza era andata mano mano scemando colla pressione.

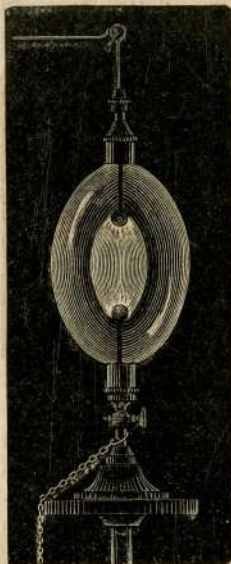



Fig. 30.

Se in luogo di aria entro quel recipiente si rinchiude qualche altro gas, si manifestano fenomeni analoghi, salvo che l'aspetto della luce continua varia a seconda della natura del gas rinchiuso; ad esempio, essa si presenta azzurra o cremisi nell' idrogeno, rosea nell'azoto, bianco-violetta nell' ossigeno, bianca nell' anidride carbonica.

I *tubi di Geissler* sono appunto tubi di vetro sottile a rigonfiamenti, a spirale o a varie foggie (figura 31) muniti di due fili di platino saldati nel vetro. Essi furono ripieni di diversi gas e saldati alla fiamma dopo avervi molto rarefatto il gas con una pompa a mercurio. Congiungendo gli elettrodi di platino coi reofori di una macchina elettrica in azione, la corrente che li attraversa vi promuove degli eleganti effetti luminosi, resi anche più attraenti dalla fluorescenza suscitata dalla luce medesima nel vetro d'uranio,

di cui può esser fatto il tubo, o in altri liquidi fluorescenti di cui il tubo può circondarsi. Si nota che il filo di platino negativo è sempre,

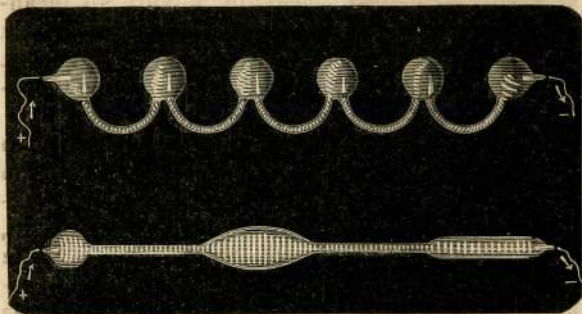



Fig. 31.

dentro il tubo, circondato da una aureola violetta che manca al positivo. È questa una delle differenze tra il modo di comportarsi delle due elettricità.

CAPITOLO VI.

Condensazione elettrica.

45. Gli effetti della scarica sono, com'è naturale, tanto più cospicui quanto più grande è la quantità di elettricità che si neutralizza. Allo scopo appunto di accumulare notevoli quantità di elettricità si usano i *condensatori.*

Carica d'un condensatore. — Un condensatore elettrico consiste essenzialmente in un corpo coibente (che può essere anche l'aria secca) interposto fra due lastre conduttrici dette *armature*. Si carica ponendo una armatura in comunicazione col conduttore d'una macchina elettrica, l'altra in comunicazione colla terra. La 1ª armatura esercita l'induzione sulla 2ª a traverso il coibente interposto (§ 36, 7°) e la carica così di elettricità contraria. Questa alla sua volta reagendo sulla elettricità della 1ª armatura la richiama sulla faccia che prospetta il coibente (fig. 32): così viene aumentata la capacità elettrica della 1ª armatura medesima, la quale perciò

è in grado di ricevere una nuova quantità di elettricità dalla macchina. Codesta reciproca azione accumulatrice delle due elettricità contrarie trova

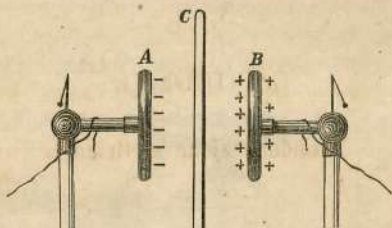



Fig. 32.

un limite nella resistenza del coibente interposto fra le armature, la quale resistenza poi dipende e dalla natura e dalla grossezza di esso coibente.

46. Elettroscopio condensatore. — Diciamo subito d'una bella applicazione fatta da Volta, combinando il condensatore con un elettroscopio per svelare le più deboli cariche elettriche.

Alla palla d'un elettroscopio ordinario (fig. 33) è unita una delle armature, formata da un largo disco metallico coperto di una vernice di gomma lacca: vi si sovrappone l'altra armatura ch'è pure un disco metallico verniciato allo stesso modo e munito d'un manico isolante.

Il corpo da esplorare si fa comunicare coll'armatura superiore a cui esso comunica parte della propria carica, mentre la inferiore mantenuta in comunicazione col suolo si carica di elettricità contraria: le cariche contrarie si vanno accumu-

lando sulle parti prospicienti il coibente. Alzando di poi l'armatura superiore, l'elettricità contraria

Fig. 33.

della inferiore si distribuisce anche sulle foglie dell'elettroscopio e le fa deviare.

47. Forma dei condensatori. — I condensatori hanno d'ordinario la forma di un *quadro di Franklin* o di una *bottiglia di Leida.*

Il primo (fig. 34) consiste in una lastra di vetro, di cui su ciascuna faccia è incollata una lamina di stagnola isolata; queste lamine formano le due armature.

La bottiglia di Leida (fig. 35) si può dire un quadro di Franklin ripiegato, perchè essa è rivestita di stagnola dentro e fuori, mentre l'armatura interna comunica con una asticella me-

tallica, terminante con una palla, la quale sporge fuori dal tappo coibente che chiude la bottiglia.

Le si diede questo nome dalla città di Leida, ove Cuneus, allievo di Musschenbroek, la scoperse per caso nel 1746. Egli volle caricare di elettricità una massa d'acqua contenuta in una boccia, che teneva abbracciata colle mani, mentre la catena della macchina elettrica in azione penetrava entro

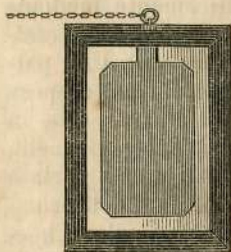



Fig. 34.

Fig. 35.

la bottiglia. Ma avendo toccato la catena, provò una forte scossa. Il fatto menò molto rumore in Europa e in America: Cuneus aveva scoperto per caso il condensatore. L'acqua difatti era una delle armature in comunicazione colla macchina; le mani formavano l'altra armatura in comunicazione colla terra; il vetro era il coibente interposto.

48. Scarica lenta. — Un condensatore si può scaricare a poco a poco o istantaneamente. La scarica *lenta* o *graduale* si fa toccando alternatamente con un dito una poi l'altra armatura. Se queste sono munite di pendolini, ad ogni contatto del dito con una delle armature, si alza

il pendolino dell'altra e ciò significa che ogni volta che si porta via ad una armatura una parte della sua elettricità, rimane libera sull'altra una parte corrispondente di elettricità contraria.

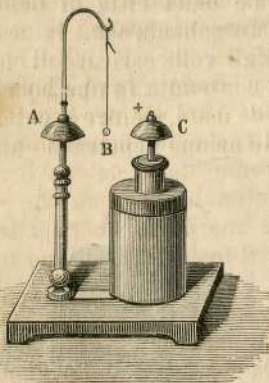



Fig. 36.

La scarica graduale si suol fare anche automaticamente mediante lo *scampanio elettrico* (fig. 36). Una pallina metallica è sospesa per un filo di seta in mezzo a due campanelli, dei quali uno è portato dal bottone dell'armatura interna d'una boccia di Leida, l'altro da una colonna pure metallica comunicante coll'armatura esterna. La pallina obbedendo alle attrazioni elettriche oscilla e scarica la bottiglia con una serie di piccole scintille.

49. Scarica istantanea. — La scarica *istantanea* si opera facendo comunicare le due armature del condensatore con un conduttore. Di solito si fa uso dell'*eccitatore* (fig. 37) che è un arco metallico pieghevole a snodo, i cui rami possono variamente accostarsi per mezzo di due manichi isolanti di vetro. Toccando con una

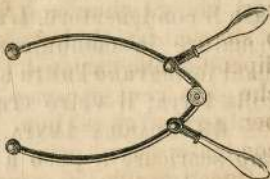



Fig. 37.

delle palle terminali dell'arco una armatura del condensatore ed avvicinando gradatamente l'altra palla all'altra armatura, prima che esse vengano a contatto si vedrà scoccare una grossa scintilla accompagnata da rumore.

Anche il corpo umano, come provò Cuneus, può servire da eccitatore. Anzi più persone possono congiungersi in catena colle mani: la persona che sta ad un estremo della catena tocca una delle armature, mentre la persona che sta all'altro estremo porta la sua mano libera a toccare l'altra armatura: tutti insieme risentono una commozione.

La scarica difatti si propaga con grande velocità. Si tratta che nei fili metallici, sebbene sia variabile a seconda della natura e delle condizioni del filo, essa è sempre paragonabile a quella della luce.

50. Scariche residue. — Dopo aver scaricato un condensatore, se si lascia a sè per un certo tempo, si può ottenere una nuova scarica, però più debole assai della prima; dopo un altro po' di tempo una terza scarica anco più debole, e così via. Si chiamano queste le *scariche residue* o *susseguenti*. Il loro numero e la loro intensità dipende dalla carica del condensatore e dal tempo che esso rimase carico, e dalla natura del coibente. Per altro non si ottengono residui dai condensatori ad aria.

Questi residui si spiegano riflettendo all'azione sofferta dal coibente per parte delle due elettricità contrarie accumulate sulle due armature. Le sue particelle vengono di certo stirate o premute

fortemente: tant'è vero ch'esso ne resta traforato, se è troppo sottile, o se troppo grandi sono le cariche delle armature. Or bene quando avviene la scarica istantanea, le particelle del coipente non tornano alla loro posizione naturale tutto ad un tratto, in causa d'una certa quale viscosità, e ponno però, ritornandoci di poi, dar luogo a nuove scariche più deboli.

Fig. 38.

Che la causa poi della condensazione elettrica risieda in codesta *polarizzazione* del coibente è dimostrato dal fatto della *bottiglia scomponibile,* trovato da Franklin. Si ha una bottiglia di Leida le cui armature ponno essere separate dal vetro (fig. 38). La si carica e la si colloca su un sostegno isolante. Ciascuna armatura, levata separatamente, si trova leggermente carica di elettricità e viene scaricata. Di poi si ricompone la bottiglia e scaricandola al solito modo se ne trae ancora una forte scintilla. Le cariche adunque non erano sulle armature, ma bensì sul vetro.

Anzi se si applicano due armature alle basi di un cilindro coibente e di poi si carica il condensatore così formato, si trova che dividendo il cilindro in tanti dischi parallelamente alle basi,

ciascuno di essi presenta sulle due facce segni elettrici opposti. Il cilindro coibente si è adunque *polarizzato* a guisa di una sbarra d'acciaio posta tra due poli magnetici di nome contrario, la quale, spezzata comunque, presenta sempre le due opposte polarità.

51. Batteria. — La capacità di un condensatore cresce colla estensione delle armature; cresce assottigliando il coibente interposto (compatibilmente colla resistenza che deve presentare alla pressione delle due elettricità); infine di-

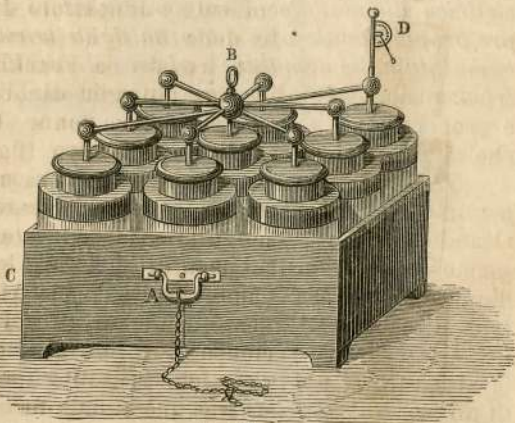



Fig. 39.

pende dal potere induttivo specifico del coibente medesimo.

Conviene adunque fare dei condensatori con armature molto estese, ma ciò sarebbe incomodo. Si preferisce fare delle *giare* o *batterie* elettriche

con parecchie bottiglie di Leida, riunendo le loro armature interne mediante spranghette metalliche (fig. 39) e le loro armature esterne coll'adagiare tutte le bottiglie entro una cassetta col fondo coperto di stagnola.

Una batteria si carica come una sola bottiglia: l'armatura interna colla macchina elettrica, la esterna col suolo. Gli effetti che si ottengono dalla scarica d'una batteria sono naturalmente più grandiosi di quelli dei piccoli condensatori. L'esperienza ha dimostrato però che *l'energia elettrica disponibile in un condensatore è sempre proporzionale alla quantità di elettricità accumulata sulle armature e al loro dislivello elettrico:* analogamente l'energia d'una cascata d'acqua è proporzionale alla massa dell'acqua e al salto che si può utilizzare.

52. Effetti della scarica. — Dopo aver rammentato i fenomeni luminosi che si hanno scaricando un corpo elettrizzato isolato, soggiungiamo che la scintilla che si ottiene dalla scarica d'un condensatore è molto più vivace, più nutrita. Essa è rettilinea quando il suo tragitto nell'aria è breve, tortuosa se questo è lungo. Se le armature si pongono a contatto cogli estremi di un *quadro scintillante* (fig. 40), sul quale siano incollate a disegno contro la lastra di vetro tante striscie di stagnola a breve distanza l'una dall'altra, la scintilla brilla simultaneamente in tutte le interruzioni della stagnola, riproducendo per un istante il disegno del quadro.

Oltre ai fenomeni calorifici propri della scintilla, la scarica riscalda tutti i corpi conduttori

che attraversa. Quando essa attraversa il filo metallico BC teso nel palloncino del termometro di

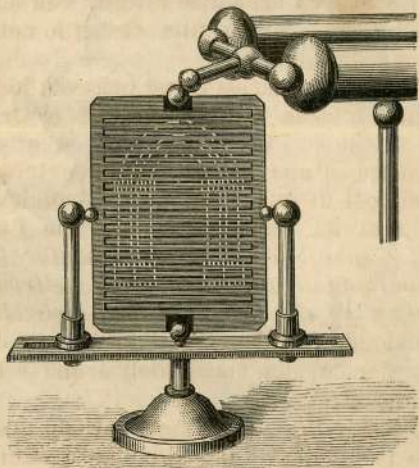



Fig. 41.

Riess (fig. 41), il calore che svolge in esso si comunica all'aria del palloncino p, la quale dilatandosi deprime la colonna liquida che si trova in un tubo capillare comunicante colla parte inferiore del palloncino e che giunge nel tubo F. Un filo sottile di ferro, una foglia d'oro, quando vengano attraversati dalla scarica si volatilizzano.

Se la scarica è costretta ad attraversare un corpo poco conduttore, lo rompe. Così trafora un cartoncino, una lastra di vetro; manda in scheggie un pezzo di legno secco. Si può traforare un

cartoncino anche con una scarica non molto forte mediante il fora-carte (fig. 42): essa passa tra le

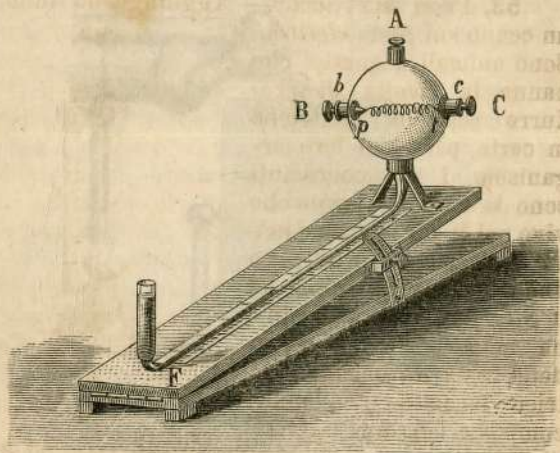



Fig. 41.

due punte che toccano il cartoncino sulle due facce opposte. È notevole che quando le due punte non si trovano precisamente affacciate il foro si fa più vicino alla punta che comunica coll'armatura negativa; e in ogni caso essa presenta gli orli rilevati su ambe le facce, come se la forza che lo ha prodotto fosse partita dal mezzo del cartoncino verso le due superficie.

Gli effetti fisiologici della scarica si riassumono nella scossa e nelle sue varie manifestazioni. Le forti scariche possono produrre delle gravi lesioni anche nei grossi animali e persino la morte.

Gli effetti della scarica sono in tutto paragonabili a quelli del fulmine.

53. Pesci elettrici. — Aggiungiamo infine un cenno sui *pesci elettrici*. Sono animali acquatici che hanno la facoltà di produrre scariche elettriche in certe parti del loro organismo. I più conosciuti sono la *raia torpedine* che vive nel Mediterraneo e nell'Atlantico; il *gimnoto* o *anguilla del Surinam* ed il *Siluro*. La raia torpedine ha nella parte posteriore della testa un organo elettrico formato da lamine composte di un migliaio

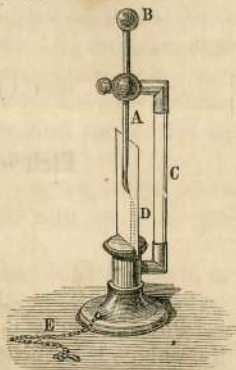



Fig. 42.

di cellette poligonali, fornite di quattro larghi fasci di fibre nervose: la parte superiore del pesce è positiva, la inferiore è negativa, sicchè toccandole simultaneamente se ne ha una forte scossa. Il gimnoto invece ha l'apparecchio elettrico distribuito lunghesso il corpo dai due lati. Esso può dare scosse terribili. Humboldt fa un vivace racconto dei combattimenti tra le anguille elettriche e i cavalli selvaggi che gl'indigeni lanciano negli stagni abitati dai gimnoti.

CAPITOLO VII.

Elettricità atmosferica.

---

54. Scoperta di Franklin. — Ai primi fisici che videro la scintilla elettrica venne subito fatto di paragonarla al lampo per la tinta, per l'istantaneità della luce, per la sua tortuosa direzione, per lo strepito che l'accompagna. L'idea che i fenomeni temporaleschi non fossero altro che fenomeni elettrici in grande, venne di poi avvalorata dall'osservazione delle scariche dei condensatori. Spetta a Beniamino Franklin la gloria di avere posto fuori di dubbio l'identità dei due ordini di fenomeni. Dietro la suggestione di lui, Dalibard il 10 maggio 1752 a Marly presso Parigi condusse realmente a terra l'elettricità delle nubi, mercè un alto palo di ferro terminato in punta. Poco di poi Franklin stesso lanciò verso una nube temporalesca un cervo volante armato di una punta metallica, cui era legato un filo di canape e ne trasse grosse scintille. L'anno seguente Richmann a Pietroburgo, sperimentando

con un apparato simile a quello di Dalibard, fu colpito in fronte da una grossa scintilla e fulminato sull'istante.

55. I principali fenomeni temporaleschi sono il lampo, il tuono, il fulmine, il contraccolpo elettrico e il fuoco di S. Elmo.

Lampo. — Il lampo è la scintilla che accompagna la scarica elettrica fra due nubi. Se ne sogliono distinguere tre specie:

1.° i *lampi lineari* o *a zig-zag* che sono tratti di fuoco tortuosi, lunghi non di rado parecchi chilometri;

2.° i *lampi diffusi* che illuminano tutta la superficie di una nube o tutto il suo contorno, come se venisse accesa dietro di essa una gran massa di polvere pirica. Essi sono forse dovuti a lampi lineari che scoccano tra le nubi degli strati superiori o a scariche che prendono origine simultaneamente da diversi punti. A questa specie appartengono anche i così detti *lampi di calore*, dovuti a temporali che scoppiano sotto l'orizzonte, come provarono le ripetute osservazioni di Saussure.

3.° I *lampi globulari* sono globi di fuoco che scendono lentamente dall'alto e poi scoppiano subitamente con grande fracasso. Uno di questi sarebbe stato osservato anche a Milano nel 1841.[1] Ma le osservazioni di tale fenomeno sono troppo poche, perchè se ne possa assegnare una causa probabile, ancorchè simili scariche globulari sieno

[1] Vedi *Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1875*, pag. 559-560.

state osservate in piccolo da Plantè colle sue potenti batterie.

56. Tuono. — Il tuono è il rumore che accompagna la scintilla del lampo ed è dovuto alla subitanea espansione e compressione dell'aria attraversata dalla scarica. È simultaneo con essa, pure giunge al nostro orecchio qualche istante dopo, giacchè le vibrazioni sonore si propagano con una velocità di circa 340 metri al secondo, le luminose invece colla velocità di 300000 chilometri. Anzi dall'intervallo tra i due fenomeni si può appunto dedurre la distanza della nube temporalesca.

Il lampo non dura mai più di un millesimo di secondo. Infatti a chi osserva una ruota a raggi girante rapidamente, essa appare tutta piena in causa della sovrapposizione delle immagini sulla retina del nostro occhio, purchè la ruota sia illuminata per un tempo sufficiente; essa invece sembra immobile quando è illuminata da un lampo, perchè questo dura meno di quanto occorre affinchè un raggio vada ad occupare il posto di quello che lo precede. Eppure il tuono si fa sentire per un tempo relativamente assai lungo, sia perchè prende origine da punti diversamente distanti da noi sulla strada percorsa dalla scintilla, sia perchè viene prolungato dagli echi delle nubi e dei monti.

57. Fulmine e contraccolpo. — Quando la scarica scoppia fra una nube e il suolo sottostante, vincendo la resistenza dell'aria interposta, cade il *fulmine*.

Esso colpisce di preferenza i luoghi elevati, i

corpi conduttori, specialmente se foggiati a punta e se si trovano in buona comunicazione colle grandi masse d'acqua. Se trova poca resistenza nella trasmissione fa pochi danni; ma fonde e volatilizza i conduttori di piccola sezione; lacera e disgrega i corpi coibenti; atterra ed uccide gli animali.

Tuttavia un animale può provare i terribili effetti della scarica fulminea, anche senza esserne direttamente colpito. Invero qualora esso avesse sentita una forte induzione per parte di una nube elettrizzata, e questa si scaricasse su un altra, il di lui corpo tornando subitamente allo stato naturale (§ 36, 2.°) potrebbe risentirne lesioni anche letali.

È questo il *contraccolpo elettrico.*

58. Parafulmine. — Franklin dopo avere scoperta la proprietà che hanno le punte di disperdere l'elettricità ci diede il *parafulmine*, che è appunto una sbarra di ferro terminata con una o più punte di rame indorato, piantata alla sommità dell'edificio, o dell'albero della nave. Essa compie principalmente l'ufficio di prevenire sovente le scariche repentine, scaricando sulle nubi l'elettricità contraria del suolo (§ 36, 6.°). Di nottetempo cotesta dispersione di elettricità per parte del parafulmine si manifesta col fenomeno della stelletta, che i marinai già da tempo chiamano *fuoco di S. Elmo*, vedendola apparire sugli alberi dei bastimenti, e che si vide talora brillare sulle lance dei soldati di Giulio Cesare.

Che se nonostante la parziale neutralizzazione della nube operata dalla punta, la carica di que-

sta fosse così grande da vincere la resistenza dell'aria sottostante, la carica colpirebbe di preferenza il parafulmine che trovasi più vicino. Però questo dev'essere in buona comunicazione, mediante una grossa catena metallica, con un pozzo d'acqua perenne, o almeno col suolo umido, o meglio coi condotti dell'acqua e del gas ove ve ne sia l'opportunità; altrimenti l'edificio non verrebbe preservato.

Sembra che un parafulmine difenda intorno a sè una base circolare avente un raggio eguale all'altezza della sbarra. Però tutte le sbarre poste sulla sommità di un edificio devono essere in buona comunicazione non solo tra loro, ma anche colle masse metalliche dell'edificio e col suolo. Il miglior modo di proteggere gli edifici sarebbe quello di far correre, come nel nuovo palazzo municipale di Bruxelles, lungo i cornicioni e gli spigoli, delle verghe di ferro munite di punte e collegate coi tubi sotterranei. Offrono una certa difesa anche le reti di

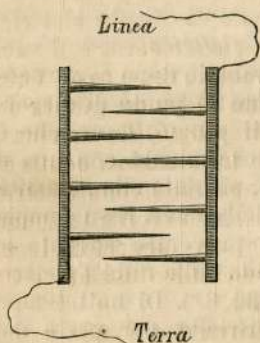



Fig. 43.

fili telegrafici e telefonici che passano sopra le nostre abitazioni, purchè avanti di entrare nei rispettivi apparecchi passino per uno *scaricatore*. Questo consiste in due grosse lastre metalliche (fig. 43) parallele e munite di punte nelle parti

prospicientisi; una di esse si tiene costantemente in buona comunicazione col suolo, l'altra col filo di linea. I fili tutti insieme formano così una grande superficie conduttrice che scarica silenziosamente nel suolo le cariche che ricevono mano mano dalle nubi temporalesche.

59. Elettricità dell'atmosfera. — Sorge naturale la domanda, donde tragga origine l'elettricità delle nubi. L'atmosfera è sempre carica di elettricità anche a cielo sereno. Il P. Beccaria di Mondovì fu nel 1752 tra i primi ad osservarlo mediante un'antenna metallica isolata, di cui la parte inferiore era in comunicazione coll'elettroscopio.

Per misurare la differenza di livello elettrico, o di potenziale, tra un punto dell'aria e il suolo si può mettere in quel punto, come usò Volta, la fiamma di una lucerna metallica congiunta con un filo alla palla dell'elettroscopio. La fiamma fa da punta conduttrice che rinnovandosi continuamente si mette presto allo stesso livello elettrico col punto esplorato. Thomson sostituì alla fiamma che si rinnova, dell'acqua che sgocciola lentamente da un recipiente metallico isolato e comunicante coll'elettroscopio.

Con tali apparecchi si trova che a cielo sereno il potenziale elettrico dell'aria è sempre positivo e cresce in generale coll'elevazione dal suolo, con una legge però non costante. Tuttavia a cielo coperto non di rado è negativo. Lo stato elettrico poi varia nelle diverse ore del giorno, ma con una legge assai complicata e non ancora ben conosciuta.

Insomma sono ancora troppo poche le osservazioni continuate di questo genere, perchè si possa asserire qualche cosa di preciso.

Pare che si possa assomigliare la terra colla sua atmosfera ad un gran condensatore, di cui il suolo carico di elettricità negativa formi l'armatura interna, gli strati inferiori dell'aria il coibente, e i superiori (che sono poco densi e perciò conduttori) formino l'armatura esterna. Il vapore d'acqua s'innalza carico di elettricità negativa e va a mescolarsi colla positiva dell'aria, cosicchè possono risultarne varî stati elettrici. Quando poi esso si condensa in piccolissime goccie a formare le nubi, raccoglie l'elettricità dell'aria circostante. Le nubi alla loro volta possono presentare vari segni per induzione reciproca e col suolo. E quando le goccioline della nube cariche di elettricità si riuniscono in gocce più grosse a formare la pioggia, aumenta grandemente il potenziale per la diminuita superficie, onde la possibilità delle potenti scariche temporalesche.

Tuttavia, secondo l'opinione del P. Secchi e di altri, sembra che alla formazione dei temporali (almeno dei grandi temporali) prendano parte principalmente dei vortici che hanno origine nella corrente alizea superiore, e che scendendo animati di moto giratorio e di traslazione portano negli strati inferiori dell'aria una grande quantità di forza viva, di elettricità e di freddo, i quali realmente sono i fattori dei temporali di qualche estensione.

E risiederebbe ancora nelle correnti alizee su-

periori la causa delle aurore polari, le quali sarebbero dovute a scariche elettriche nelle alte regioni dell'atmosfera fra l'aria fredda e positiva dei paesi polari e le correnti calde d'aria e di vapore che vengono cariche di elettricità negativa dal suolo e dall'oceano dei paesi tropicali. Difatti la luce delle aurore polari rammenta quella delle scariche nei gas rarefatti, quali si osservano nei descritti tubi di Geissler (§ 44).

Comunque sia, è a desiderarsi che osservazioni regolari e continuate sieno fatte e incoraggiate su larga scala presso tutti i popoli civili, senza di che sarà impossibile neppure di avvicinarsi alla soluzione di questo importante problema della meteorologia.

CAPITOLO VIII.

La pila.

60. Scoperta di Galvani. — Nel 1786 Luigi Galvani, professore all'università di Bologna, studiando l'irritabilità nervosa delle rane, osservò su di essa il contraccolpo elettrico prodotto dallo scaricarsi di una macchina elettrica vicina. Volendo di poi indagare l'influenza della elettricità atmosferica, scoperse che ogni qualvolta i nervi lombari vengano fatti comunicare metallicamente coi muscoli di una gamba (fig. 44), la rana si contrae fortemente.

Galvani interpretò il fatto, paragonando la rana ad una bottiglia di Leida, di cui i nervi rappresentassero l'armatura interna e si caricassero di elettricità per le azioni vitali; i muscoli l'armatura esterna; e le materie grasse interposte formassero il coibente: l'arco metallico per lui fungeva da eccitatore che operava la scarica, e la rana faceva anche la parte di elettroscopio. Tali idee spiegò egli in un opuscolo pubblicato nel 1791, che menò grande rumore.

L'esperimento di Galvani riesce sempre servendosi di un arco formato di due metalli diversi, per esempio rame e zinco; non riesce sempre se l'arco è formato di un solo metallo. Fu per questa

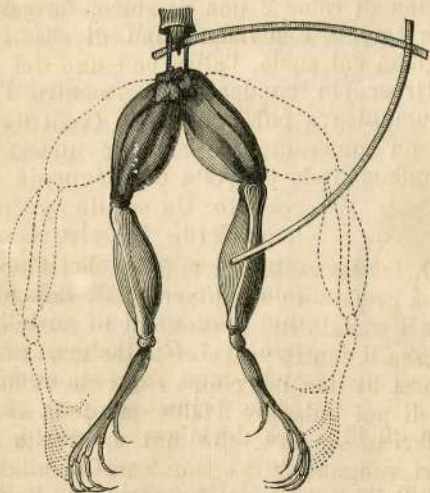



Fig. 44.

circostanza che Volta, allora professore a Pavia, fissò l'attenzione sull'influenza esercitata nel fenomeno dalla presenza dei due metalli. S'impegnò tra Bologna e Pavia una lotta vivissima e bella di nuove scoperte che resero più illustre la gloria del vincitore ed acquistarono lode al valore dei vinti.

61. Forza elettromotrice di contatto. — Se-

condo Volta, nel contatto di due conduttori eterogenei prende origine una *forza elettromotrice*, la quale promuove una differenza di potenziale, un dislivello elettrico tra i due corpi. Questo fatto fondamentale egli provò saldando insieme una lamina di rame e una di zinco, formandone cioè una *coppia*, e ponendo una di esse in comunicazione col suolo, l'altra con uno dei piatti dell'elettroscopio condensatore, mentre l'altro piatto comunicava pure col suolo (vedi fig. 33).

Thomson confermò recentemente questa scoperta fondamentale di Volta col seguente esperimento. Un sottile ago metallico *C D* (fig. 45), elettrizzato, è sospeso e girevole intorno al punto *C*: sotto di esso stanno due semi-anelli di metalli differenti *A*, *B*. Finchè questi non si toccano, l'ago sta fermo; ma come prima si opera il contatto tra quelli, l'ago devia verso l'uno o verso l'altro.

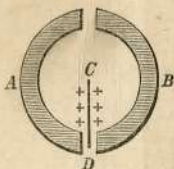



Fig. 45.

Pertanto la forza elettromotrice di contatto non è eguale per tutte le coppie di conduttori: i metalli la danno assai grande, relativamente ai liquidi, nei quali è trascurabile. Anzi v'è differenza tra una coppia di due metalli e un'altra. Così nella serie seguente: *zinco, piombo, stagno, ferro, rame, argento, oro, platino, carbone*, i conduttori sono ordinati in guisa che la forza elettromotrice di una coppia qualunque di essi è tanto maggiore quanto più si trovano discosti tra loro nella serie; e sempre il potenziale elet-

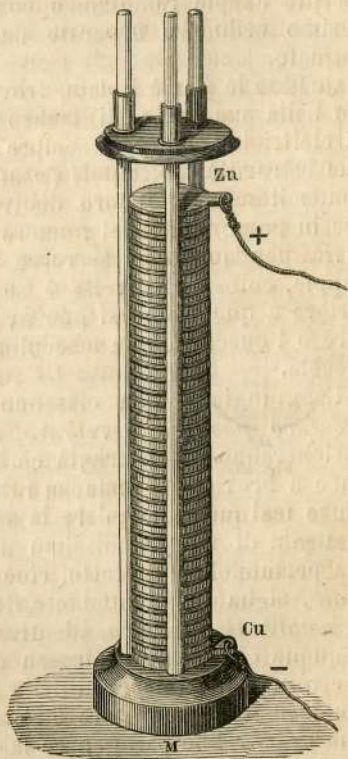
trico di quel che precede nella serie è più alto di quello che vien dopo.

Altre due importanti leggi scoperse Volta sulla forza elettromotrice di contatto:

1.° Essa dipende unicamente dalla natura dei due metalli accoppiati, non già dalla loro forma e neppure dalla estensione del contatto.

2.° In una serie qualunque di più metalli messi in contatto, il dislivello elettrico sui due metalli estremi è il medesimo, come se quei due metalli fossero a contatto immediato fra loro.

Fig. 46.

62. Pila a colonna. — La più splendida conferma della giustezza delle sue vedute, Volta la diede nel 1800 colla meravigliosa

invenzione della *pila* (fig. 46), nella quale si sommano gli effetti delle forze elettromotrici di parecchie coppie rame-zinco sovrapposte nel medesimo ordine e separate da dischi di panno bagnato.

Quando la pila è isolata, trovasi allo stato neutro nella sua parte di mezzo e manifesta segni di elettricità contrarie sempre crescenti verso le due estremità, dette *poli (positivo* e *negativo* secondo il segno); il loro dislivello elettrico cresce in proporzione del numero delle coppie. Tuttavia per quanto si accresca il numero di esse coppie, cotesto dislivello è sempre di molto inferiore a quello che si può avere tra il conduttore e i cuscini d'una macchina a strofinio anche piccola.

Congiungiamo con ciascuno dei poli un filo *(reoforo positivo* e *reoforo negativo):* essi si caricheranno di elettricità contrarie. Accostando anco a brevissima distanza i due capi liberi, non viene mai fatto di vedere la scintilla, se non con una pila di un grandissimo numero di coppie; ma portandoli a contatto, cioè *chiudendo il circuito,* si ha un abbondante flusso di elettricità, una *corrente elettrica*, identica per le proprietà a quella che viene promossa con una macchina a strofinio nei due rami dello spinterometro che riuniscono il conduttore e i cuscini (§ 43); salvo che si potrebbe paragonare la corrente della pila a quella di un' acqua poco profonda che scorre in un largo fiume, e la corrente promossa per istrofinio a quella di un liquido che scorre a stento entro un canale sottile sotto una forte

pressione: nella pila, piccolo dislivello e grande quantità di elettricità; nella macchina a strofinio, il contrario.

Ma un' altra notevole differenza tra i due apparecchi sta in ciò: che nell'uno l'energia che si trasforma in corrente elettrica è estrinseca; nella pila invece risiede nell'apparecchio istesso: là è l'energia muscolare che si trasforma, quì è l'energia potenziale chimica.

63. Sede della forza elettromotrice. — Nella pila di Volta infatti — fu dapprima osservato da Fabroni — lo zinco a contatto del panno umido si ossida dando luogo a svolgimento di gas idrogeno. Ciò ha fatto supporre, contrariamente all'idea di Volta, che la forza elettromotrice risiedesse non già nel contatto del rame e dello zinco, ma bensì tra lo zinco e il panno umido, caricandosi quello (corpo ossidato) di elettricità negativa e questo (corpo ossidante) della positiva; anzi si credette che l'azione chimica fosse la sola *causa* della corrente.

Ciò non è esatto. Oltrechè la forza elettromotrice al contatto dei due metalli è posto fuori di dubbio dalle indicate esperienze di Volta e di Thomson, gli elettrometri la palesano più grande assai fra due metalli che non fra un liquido e un metallo anche da esso attaccabile. Altro è la forza elettromotrice, altro è l'azione chimica. Anzi la forza elettromotrice tra due metalli è condizione predisponente necessaria per l'azione chimica.

Difatti in una tazza di vetro contenente acqua leggermente acidulata con acido solforico (fig. 47)

poniamo una lastra di rame ed una di zinco chimicamente puro, ovvero di zinco amalgamato (ricoperto cioè d'uno strato di mercurio): lo zinco non si discioglie finchè le due lastre sono separate. Ma se le riuniamo al di fuori del liquido

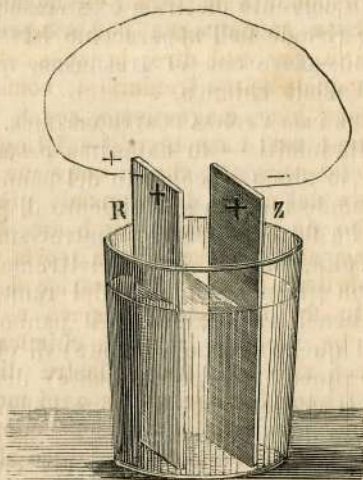



Fig. 47.

con un filo, per esempio, di rame, l'azione chimica tosto ha principio, l'idrogeno si svolge (notiamolo) a contatto della lastra di rame.

Se invece la lastra di zinco è impura o non amalgamata, tale cioè che in qualche punto della superficie ci sia qualche particella di metallo eterogeneo, ivi prende origine una forza elettromotrice: il circuito è chiuso tra la lastra di zinco, la particella eterogenea e il liquido; la

corrente circola, lo zinco si discioglie; e l'idrogeno si svolge contro la lastra di zinco, senza che questa sia riunita al di fuori colla lastra di rame mediante un filo metallico.

L'azione chimica adunque richiede per condizione predisponente la forza elettromotrice di contatto. Essa accompagna poi sempre la corrente, anzi fa, per così dire, la spesa di questa energia, la quale potrà tramutarsi, come vedremo, in calore, luce, magnetismo, ecc. [1]

64. Senso della corrente. — Ad ogni modo il *senso della corrente,* che si conviene di prendere sempre dal corpo di potenziale più elevato verso quello di potenziale più basso, è sempre il medesimo, sia che, secondo la teoria del contatto, la sede della forza elettromotrice si ammetta nel contatto fra la lastra di zinco e il filo di rame, sia che, secondo la teoria chimica, si ammetta invece risiedere tra la lastra di zinco e il liquido. La corrente circola in ogni modo dallo zinco al rame entro il liquido della coppia della pila (vedi fig. 47) e dal rame allo zinco al di fuori

---

[1] Fu oggetto di lunga controversia la *pila a secco* di Zamboni. Essa è formata da un gran numero di dischetti di carta, coperti di stagno su una faccia, di ossido di manganese sull'altra. Sono sovrapposti sempre nel medesimo senso come in una pila di Volta: lo stagno tien luogo dello zinco, il manganese del rame, la carta del panno umido. Quì l'azione chimica che accompagna la corrente è promossa dalla debole umidità della carta; ma la corrente è debole e la pila a circuito chiuso si esaurisce prestamente. Durano invece a lungo cariche di elettricità contrarie le estremità della pila tenuta isolata a circuito aperto; perciò essa trova una bella applicazione nel descritto elettroscopio di Bohnenberger a una sola foglia d'oro (§ 30).

del liquido, ossia, come si dice, nell'*arco interpolare*. Il reoforo che comunica col rame è il positivo, quello dello zinco (metallo ossidato) è sempre il negativo.

65. Corrente di polarizzazione. — Se non che l'idrogeno che si svolge nella pila, attaccandosi alla lamina di rame, ne scema fortemente la conduttività e la *polarizza*. Vale a dire tra l'idrogeno e il rame si sviluppa una nuova forza elettromotrice, che promuove una corrente in senso contrario alla corrente principale e finisce per neutralizzarla.

Non valse che Volta stesso, non potendo conoscere la cagione dell'indebolimento della corrente, abbia sostituito alla pila *a colonna* quella *a corona di tazze;* nè che Cruikshank vi abbia sostituito quella *a truogoli*, e Wollaston la sua a larghe coppie separate. Si dovette trovar modo d'impedire assolutamente all'idrogeno di attaccarsi al metallo positivo non ossidabile.

66. Elemento Smee. — Vi riuscì in parte Smee prendendo per metallo positivo una lastra di argento platinato, cioè coperto di platino finamente suddiviso, sotto forma di polvere nera, che ne rende affatto scabra la superficie, in guisa da facilitare lo svolgimento delle bolle d'idrogeno che vi si formano. Ogni coppia o elemento della pila di Smee risulta così formato di una tazza di vetro o di terraglia, dove pescano di fronte, nell'acqua acidulata con acido solforico, una lastra di zinco e quella di argento platinato.

67. Elemento Grenet. — Vi si riesce, ma solo

per correnti di breve durata, colla pila Grenet (fig. 48). Ciascun elemento di essa consta di una boccia di vetro contenente un liquido formato di acqua (90 parti), acido solforico (5 parti) e bicromato potassico (5 p.); dove pescano parallelamente, fissati al coperchio della boccia e riuniti metallicamente fra loro all'esterno, due pezzi di carbone compatto di storta da distillazione del gas illuminante: fra essi s'insinua una lastra di zinco, in guisa da rimanere isolata e da poterla sprofondare più o meno entro il liquido. Quì il bicromato ch'è un ossidante energico, fissa l'idrogeno svolto dall'azione dell'acido solforico sullo zinco.

Fig. 48.

68. Pile a due liquidi. — La polarizzazione viene quasi del tutto eliminata nelle *pile a due liquidi*. In esse vi ha sempre un liquido *eccitatore* che attacca un metallo ed un liquido *depolarizzatore* destinato a fissare l'idrogeno svolto da questa azione chimica. Funge sempre da polo negativo il metallo attaccato, che per lo più è lo zinco, e viene di solito amalgamato allo scopo di impedire l'azione chimica a circuito aperto (§ 63).

Fra i moltissimi descriveremo pochi tipi dei più usati.

69. Elemento Daniell. — Nell'elemento Daniell un cilindro cavo di zinco pesca nell'acido solforico diluito, contenuto in un vaso di vetro; il cilindro di zinco abbraccia un vaso di terra porosa che contiene una soluzione di solfato di rame e un altro cilindro di rame. Nel primo liquido si deposita il solfato di zinco, l'idrogeno che se ne svolge passa pei pori del vaso di terra, incontra il solfato di rame, si sostituisce al rame, il quale si deposita sul cilindro di rame impedendo così la polarizzazione. Acciocchè la soluzione non si impoverisca del metallo, conviene aggiungere man mano dei cristalli di solfato di rame.

70. Coppia della pila italiana. — La *coppia italiana* è una modificazione della Daniell che si usa nei nostri uffici telegrafici. Manca il vaso poroso, e i due liquidi rimangono separati per la differenza di densità. La soluzione di solfato di rame che sta sul fondo giunge fino alla strozzatura del vaso di vetro che li contiene (fig. 49); al di sopra si versa lentamente di solito acqua di pozzo, oppure acqua leggermente acidulata. Alla lastra di rame che sta sul fondo va unito un reoforo di rame, verniciato perchè rimanga isolato dal liquido che attraversa: un cilindro di zinco s'appoggia sulla strozzatura del recipiente.

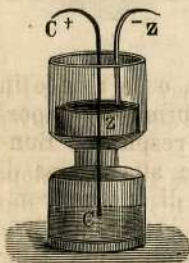



Fig. 49.

71. Elemento Grove-Bunsen. — Nell'elemento Grove (fig. 50) il liquido eccitatore è ancora l'acido solforico allungato che attacca lo zinco; il

depolarizzatore entro il vaso poroso è l'acido azotico concentrato, in cui pesca una lamina di platino. La disposizione delle parti è analoga a quella descritta per l'elemento Daniell. Qui l'i-

Fig. 50.

drogeno disossida l'acido azotico e lo riduce in ipoazotide, che si svolge sotto forma di vapori rossi, in verità molesti e nocivi a respirarsi. Bunsen sostituì con molta economia alla lamina di platino un cilindro di carbone di storta compatto, che costa assai meno ed è pure inattaccabile dagli acidi e buon conduttore della elettricità.

72. Elemento Leclanché. — Citiamo infine la coppia Leclanché che si usa comunemente pei campanelli elettrici. Il liquido eccitatore è una soluzione di sale ammoniaco che agisce sovra un bastone di zinco amalgamato (fig. 51). Fa da depolarizzatore un miscuglio di coke e biossido di

manganese che circonda un prisma di carbone compatto entro il vaso poroso.

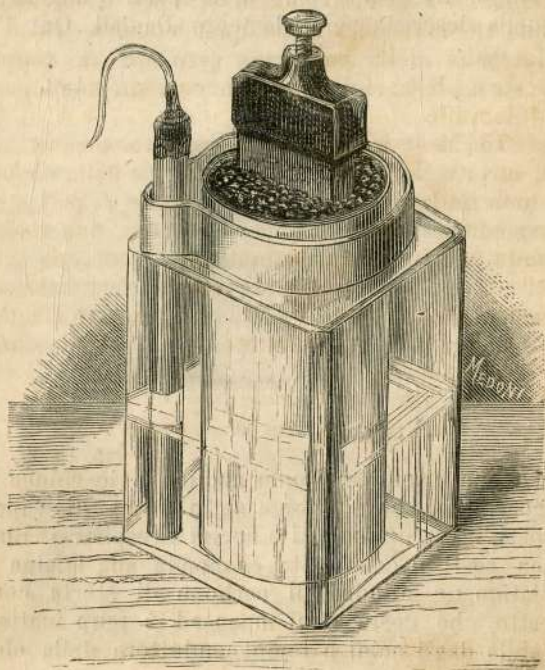



Fig. 51.

Fra le citate coppie a due liquidi la coppia Daniell è quella che più di tutte rimane costante a circuito chiuso, sebbene non dia una corrente molta intensa. La Grove-Bunsen si mantiene intensa per alcune ore, finchè l'acido azotico non

sia troppo ridotto. Nella Leclanché la corrente decresce con una certa rapidità, ma la depolarizzazione è pronta quando si apra il circuito; onde richiudendolo dopo qualche sosta, risorge l'intensità della corrente: però questa coppia presta utili servigi quando la corrente si adopera a intervalli.

73. Misura della forza elettromotrice. — La misura della forza elettromotrice delle coppie è data dalla differenza di potenziale ai poli e si fa mediante gli elettrometri (§ 37), ponendo i conduttori isolati in comunicazione coi due poli della pila. In pratica si è adottata una unità di misura, chiamata *volta* in onore del nostro sommo fisico. Ecco le forze elettromotrici per ciascuna delle coppie descritte.

Coppia	*F. E. M.* in *volta*
Volta	0, 82
Smee	0, 65
Grenet	1,8-2,3
Daniell e modificazioni .	0,98-1,08
Grove-Bunsen	1,75-1,96
Leclanché.	1,5-1,6

74. Disposizioni degli elementi d'una pila. — L'insieme degli elementi che formano una pila si chiama dai pratici *batteria*. Essi elementi pos-

sono essere disposti *in tensione* ovvero *in quantità*. Nel primo caso (fig. 52 in basso) il polo positivo del primo elemento si riunisce col ne-

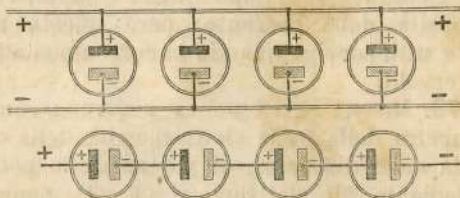



Fig. 52.

gativo del secondo; il positivo del secondo col negativo del terzo, e così via: i due estremi liberi sono i poli della pila. In questo caso il loro dislivello elettrico, ossia la forza elettromotrice della pila, è eguale alla somma delle forze elettromotrici di ciascun elemento.

Quando invece gli elementi sono riuniti per quantità (fig. 52 in alto), comunicano tra loro i poli del medesimo nome di ciascuno di essi, per modo che gli è come se si avesse un unico elemento di estensione pari alla somma di tutti insieme. In tal caso, pel principio scoperto da Volta (§ 61, 1°), la forza elettromotrice della pila è eguale a quella di un solo elemento di essa.

Una buona pila deve avere i seguenti requisiti: avere grande forza elettromotrice ed una grande conduttività ossia piccola resistenza interna: dare una corrente costante, cioè essere priva di polarizzazione; non richiedere troppo

frequente rinnovazione di liquidi; non dar luogo a reazioni a circuito aperto; essere facilmente maneggevole e non spandere emanazioni nocive.

75. Pile termo-elettriche. — Una classe di pile, le quali, ancorchè di debole forza elettromotrice, pure per la grande conduttività interna e per la comodità del maneggio possono rendere utili servigi in molti casi, è quella delle *pile termo-elettriche*, nelle quali l'energia che si tramuta in corrente elettrica è somministrata, non già dall'affinità chimica, ma dal calore.

76. Coppia termo-elettrica. — Una coppia termo-elettrica, quale fu trovata da Seebek nel 1823, consiste in due pezzi di diverso metallo (fig. 53) saldati insieme in due punti *a*, *b* in modo da formare un circuito chiuso. Finchè le due saldature sono alla medesima temperatura, niente si osserva; ma se si provoca una differenza di temperatura tra esse, il circuito è percorso da una corrente. Si trova che la forza elettromotrice che suscita tale corrente è, dentro certi limiti, proporzionale alla differenza di temperatura fra le saldature, e varia colla natura dei metalli che formano la coppia. Così nella serie seguente: *antimonio, ferro, rame, zinco, argento, oro, platino, piombo, argentana, bismuto*, la forza elettromotrice è più grande per le coppie di metalli che si trovano

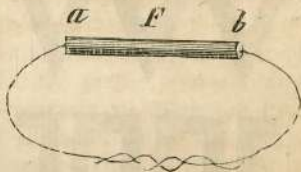



Fig. 53.

più discosti, massima perciò per la coppia antimonio-bismuto.[1] Di più quello dei due metalli che precede nella serie è *termo-elettrico positivo* rispetto a quello che segue, cioè la corrente nel primo procede dalla parte calda alla parte fredda.

È notevole che valgono anche per questo genere di forza elettromotrice i principi di Volta (§ 61), vale a dire che essa è indipendente dalle dimensioni dei metalli e dalla estensione delle saldature, e che in una catena di metalli la differenza dei potenziali agli estremi è la somma delle differenze di potenziali alle singole saldature.

77. Pila di Nobili. — Come colle coppie voltiane si formano le *pile idroelettriche*, così con queste coppie si formano le *pile termo-elettriche*, riunendole in guisa che le loro forze elettromotrici si sommino. Nobili ha insegnato ad allineare le coppie di maniera che le giunture di posto pari rimangano da una stessa parte, e quelle di posto impari dalla parte opposta (fig. 54). Così si può tenere le prime ad una temperatura uni-

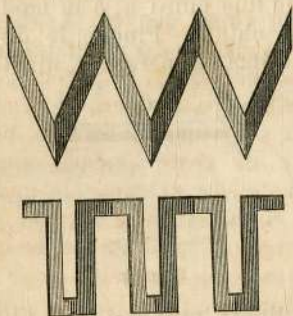



Fig. 54.

[1] Per altro anche per questa coppia la forza elettromotrice aggiunge solamente i 117 milionesimi di *volta* per 1° C. di differenza fra le saldature.

forme e le altre ad una temperatura pure uniforme, ma diversa da quella delle prime, ed ottenere tante forze elettromotrici cospiranti. Gl'intervalli tra una sbarra e l'altra si riempiono di materia coibente.

La pila di Nobili può servire da squisito termometro; e Macedonio Melloni ne fece una stupenda applicazione nel suo *termattinometro* per lo studio del calore raggiante.

Accenneremo infine fra le altre la pila Nöe e la pila Clamond che rappresentano i tentativi di pile termoelettriche a forza elettromotrice grande e che si adoperano effettivamente in alcune industrie, ad esempio nella galvanoplastica.

78. Pila di Nöe. — La pila di Nöe è formata da 20 bastoncini di una lega (termoelettrica positiva) di antimonio e zinco disposti a guisa di stella (fig. 55) e collegati da altrettanti fili di argentana (termoelettrici negativi). Il reoforo positivo è attaccato al primo bastoncino, il negativo all'ultimo filo. Alle saldature interne dei bastoncini coi fili (tutte di posto impari) sono congiunte altrettante asticelle di rame, le quali si accostano al centro della stella e strette fra due dischi di mica vengono scaldate tutte insieme con una fiamma a gas, trasmettendone il calore alle dette saldature interne. Le saldature esterne poi sono congiunte ad altrettanti tubi di rame verticali, i quali richiamando l'aria nel loro interno, mantengono queste ultime ad una temperatura convenientemente più bassa delle prime. Di solito va unito alla pila un regolatore del gas. Sedici coppie di queste dànno una forza elettro-

motrice eguale ad 1 *volta*, cioè poco più d'una coppia Daniell.

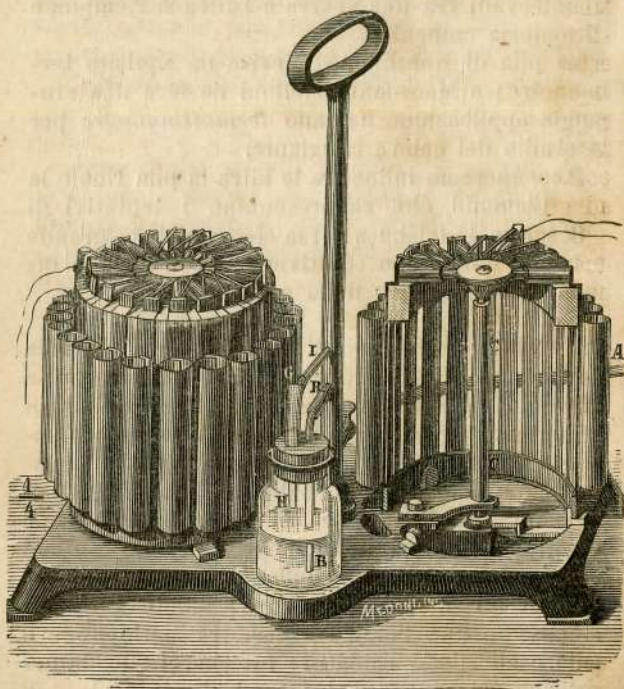



Fig. 55.

79. Pila di Clamond. — Nella pila Clamond ai fili d'argentana sono sostituite delle liste di ferro che resistono più a lungo.

Le *catene* o serie di coppie sono disposte intorno ad un cilindro di ghisa, nel quale arde un fornello a carbone coke. Un sistema di ampie lamine verticali di rame fanno corona intorno alle catene per mantenere fredde le saldature esterne; per modo che queste non oltrepassano la temperatura di circa 80°, mentre le interne raggiungono i 360°. Tremila di queste coppie forniscono una forza elettromotrice di circa 100 *volta* e accendono anche una lampada elettrica ad arco.

Come si vede, queste pile sono molto comode, dacchè basterebbe accendere e spegnere la lampada a gas, o il fornello. Ma esse vanno soggette ad un rapido deterioramento.

80. Correnti negli animali. — Le pile termoelettriche sono esempi di pile a piccola resistenza interna, perchè formate interamente di parti metalliche. A grandissima resistenza sono invece le *pile animali*, delle quali pure vogliamo fare un breve cenno.

Come abbiamo detto al principio di questo capitolo, Galvani aveva interpretato la sua scoperta fondamentale, attribuendola ad una *elettricità animale* propria della rana; ed era riuscito, dopo la opposizione di Volta, ad ottenere le contrazioni della rana anche riunendone il nervo ed il muscolo con *un solo metallo*.

Parecchi anni dopo, Nobili dimostrò che una rana preparata al modo di Galvani poteva considerarsi come una coppia di pila, di cui i nervi lombari fungono da polo positivo. Egli costruì una *pila di rane* disponendo gli uni accanto agli

altri tanti bicchieri pieni di acqua salata e facendo comunicare il liquido dell'uno con quello del bicchiere vicino con altrettante rane preparate, di cui i nervi lombari pescavano nel primo, le gambe nel secondo: i nervi liberi d'una delle rane estreme formavano il polo positivo della pila, le gambe dell'altra il negativo. La pila funziona per parecchie ore dopo che le rane sono state uccise.

Matteucci poi scoperse che anche un solo muscolo di una rana uccisa di fresco è sede di una forza elettromotrice, in modo che il capo del muscolo tagliato è positivo, i lati di esso negativi; di guisa che egli potè costruire una *pila di coscie di rana* che parimenti poteva funzionare per parecchie ore.

Du Bois Reymond infine fece conoscere le correnti che si ottengono all'atto della contrazione di un muscolo, e quelle che si ottengono dall'uomo stesso riunendone con un filo due parti simmetriche del corpo: correnti che variano del resto per direzione e per intensità da individuo a individuo e anche in un medesimo individuo di tempo in tempo.

81. Non possiamo chiudere questo capitolo — nel quale abbiamo cercato di render conto meglio che per noi fosse possibile nei brevi limiti concessi al Manuale, delle principali fonti continue di elettricità — non possiamo chiudere, dico, senza ripensare alla gloriosa lotta iniziata combattuta e vinta in Italia, da cui sorse lo stupendo monumento della pila, e senza rendere anco una volta omaggio al genio del nostro Volta, che

dopo aver divinato il principio della forza elettromotrice di contatto, seppe difenderlo da infiniti attacchi, creando con rara sagacia nuovi mezzi sperimentali per dimostrarlo e sostenerlo; per modo tale che le idee teoriche, le deduzioni di lui reggono anche oggigiorno, nonostante si sieno cotanto perfezionati i metodi di osservazione, si sieno aggiunti tanti nuovi fatti, stabilite tante nuove leggi! Onore dunque al genio italiano!

CAPITOLO IX.

Effetti fisiologici della corrente. Elettrolisi e galvanoplastica.

---

82. Effetti fisiologici. — Primi in ordine cronologico fra gli effetti della corrente elettrica si presentano i fisiologici, giacchè anco avanti la scoperta di Galvani si sapeva che ponendo una lamina d'argento sopra la lingua e una di piombo al di sotto, indi facendo toccare le due lamine al di fuori, si prova un sapore astringente, come di vetriolo. Codesto sapore — dopochè si conobbe esser dovuto alla coppia elettrica formata dai due metalli — fu detto *sapore galvanico.*

L'effetto generale che una corrente opera sui nervi si è di eccitare in essi la funzione cui sono destinati. Così suscita bagliori anche ad occhi chiusi quando attraversa il nervo ottico, rumori particolari nel nervo acustico, sapori sulla lingua e infine contrazioni muscolari quando passa pei nervi motori. E quest'ultime non solamente nelle

rane; ma nei conigli, nelle pecore, ne' buoi, nell'uomo.

Aldini da noi e Ure a Glasgow sperimentarono, al principio del secolo, forti correnti elettriche, con un successo terribile, sul corpo di alcuni giustiziati. I muscoli della faccia erano in preda ad orribili contorsioni e il petto si sollevava colla contrazione del diaframma.

Quest'ultimo effetto ha suggerito di applicare la corrente a far rinvenire le persone affogate, poichè la contrazione dei muscoli del petto serve a richiamare in attività la respirazione.

Del resto fin dalla scoperta della boccia di Leida parecchi tentativi vennero fatti per introdurre una regolare elettroterapia. La corrente ha reso molti servigi in certi casi di paralisi, ma essa vuol essere adoperata con precauzione e sempre sotto la direzione di un pratico chirurgo.

83. Effetti chimici. — Subito dopo, sempre in ordine cronologico della scoperta, seguono gli effetti chimici.

Carlisle e Nicolson in Inghilterra decomposero pei primi l'acqua mediante la corrente fornita da una pila a colonna il 30 aprile 1800.

Ora questa decomposizione si suole operare mediante *l'amperómetro.* [1] Esso consiste in un bicchiere contenente acqua acidulata con acido solforico, dal cui fondo sorgono due laminette di

[1] L'apparato che quì si descrive si chiamava per l'addietro *voltametro*; ma ora questo nome è riserbato agli apparati che servono a dare la misura delle forze elettromotrici in numeri di unità *volta* (§ 107).

platino (fig. 56) che si coprono con due campanelle capovolte pure ripiene di acqua acidulata. All' atto che si chiude il circuito, intorno alle

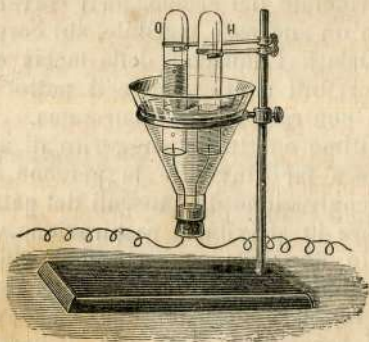



Fig. 56.

lamine di platino si svolgono numerose bollicine gasose che si raccolgono al sommo di ciascuna campanella. Cessa lo svolgimento all' atto che si apre il circuito della corrente.

Si riconosce alle note proprietà che il gas raccolto nella campanella, ove giunge il reoforo positivo, è ossigeno, l' altro è idrogeno; quest' ultimo in volume doppio del primo, com' è appunto il rapporto volumetrico di essi gas che si richiede per formare l' acqua.

Il fenomeno è generale: *la corrente decompone tutti i corpi composti che attraversa, sieno essi disciolti o fusi per l' azione del calore; e i prodotti della decomposizione si manifestano soltanto dove la corrente entra ed esce dal liquido.*

Chiamasi *elettrolisi* il fenomeno; *elettrolito* il liquido che viene decomposto; *ioni* gli elementi della decomposizione; *elettrodi* le lamine conduttrici che portano la corrente nel liquido (*anodo* la positiva, *catodo* la negativa).

84. Leggi della elettrolisi. — L'elettrolisi avviene sempre con leggi determinate e per la qualità e per la quantità degli *ioni* che vengono trasportati dalla corrente. Così negli ossidi e nei composti binari di un metalloide con un metallo, per esempio solfuri, cloruri, bromuri, joduri, ecc. il metallo si porta sull'elettrodo negativo, ed il metalloide sul positivo. Nel caso di un sale semplice, il metallo si deposita sull'elettrodo negativo e la restante parte della sostanza al positivo.

È facile mostrare come portando la corrente anche per pochi istanti, mediante lamine di platino, a traverso una soluzione di solfato di rame, o di cianuro d'argento o di cloruro d'oro, l'elettrodo negativo si ricopre uniformemente di rame, d'argento o d'oro rispettivamente. Questo è il principio della galvanoplastica.

Bisogna però notare che gli elementi così posti in libertà possono dar luogo a reazioni secondarie o col liquido o cogli stessi elettrodi. Così, per esempio, l'ossigeno ossiderebbe l'elettrodo positivo se fosse di ferro o di zinco: il potassio o il sodio decomporebbero l'acqua per combinarsi coll'ossigeno; o formerebbero un'amalgama col mercurio, se questo si trovasse all'elettrodo negativo.

Quest'ultima azione col mercurio fu messa a

profitto da Seebek per ottenere il potassio e il sodio, i quali del resto erano già stati scoperti nel 1807 da Davy decomponendo la potassa e la soda con una forte corrente elettrica.

85. Le leggi relative alla quantità degli ioni furono trovate da Davy, da Faraday e da Matteucci e si possono enunciare così:

1.° *La potenza elettrolitica della corrente è eguale in tutto il circuito.*

Facciamo che la corrente attraversi diversi amperometri posti di seguito gli uni agli altri, di qualsiasi forma e dimensione: la quantità di idrogeno che si svolge è eguale in ciascuno di essi. Ed è anche eguale a quella di ciascun amperometro la quantità d'idrogeno che si svolge in ciascun elemento della pila.

2.° *La potenza elettrolitica della corrente è proporzionale alla sua intensità.*

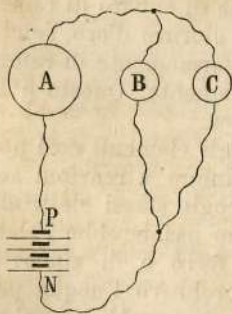



Fig. 57.

Supponiamo che la corrente partendo dal polo positivo *P* (fig. 57), dopo aver attraversato un primo amperometro *A*, si divida in due rami, ciascuno de' quali attraversi uno degli amperometri *B* e *C tra loro identici*, e che di poi i due rami si riuniscano di nuovo per ritornare al polo negativo *N*. La quantità d'acqua decomposta nell'amperometro *A*, sarà eguale alla somma delle due *quantità eguali* decomposte in ciascuno degli amperometri eguali *B* e *C*.

In ciascuno dei due rami, come in un canale d' acqua che si biforca, passa una quantità di elettricità che è la metà di quella che passa nel medesimo tempo nel ramo unico. E l' esperienza mostra che l' effetto elettrolitico in ciascuno dei rami è la metà di quello che si ha nel ramo unico.

3.° *La scomposizione di diversi elettroliti per opera di una stessa corrente si effettua in proporzione dei rispettivi pesi di combinazione.* Supponiamo che una medesima corrente attraversi diversi amperometri, posti di seguito gli uni agli altri, i quali contengano rispettivamente, per esempio, acqua, azotato di rame, solfato di zinco, azotato d'argento, ecc. Si troverà che per ogni milligrammo d' idrogeno che si svolge nel primo, si depositeranno milligr. 31, 5 di rame sull'elettrodo negativo del secondo; 32, 5 di zinco nel terzo; 108 d' argento nel quarto, e così via. I numeri

1; 31,5; 32,5; 108

rappresentano appunto i relativi pesi di combinazione, ossia gli equivalenti chimici dell' idrogeno, del rame, dello zinco e dell'argento.

86. Misura della corrente. — L' amperometro adunque è propriamente un apparato che può servire a misurare l'intensità della corrente. Infatti questa corrente potrà sempre esprimersi mediante la quantità di un elettrolito decomposto in un determinato tempo. Così, ad esempio, si dice che una pila Clamond dell' officina Christophle di Parigi, la quale consuma 50 litri

di gas illuminante all' ora, dà 30 grammi d'argento.

Ma dal Congresso degli Elettricisti a Parigi nel 1881 fu adottata un'unità di corrente, chiamata appunto *ampère* (in onore del sommo fisico e matematico francese Ampère), la quale è atta a svolgere milligr. 0,0105 d'idrogeno per ogni minuto secondo.[1]

È facile perciò dietro la 3ª legge suesposta di calcolare le quantità di altri elementi deposti della corrente di 1 *ampère*.

Joni	Equivalente elettro-chimico	Per 1 ampère milligr.
Idrogeno . . .	1	0. 0105
Ferro.	28	0. 2940
Nikel.	29.5	0. 3097
Rame.	31.5	0. 3307
Zinco.	32.5	0. 3412
Stagno	59	0. 6195
Oro	65.5	0. 6875
Piombo	103.5	1. 0867
Argento. . . .	108	1. 1340

[1] Jacobi avea proposto già da tempo per unità di corrente quella che in ogni minuto primo è atta a svolgere 1 cent. cubo

Diciamo subito che Edison, nel suo sistema di distribuzione della corrente per la luce elettrica, assume per misura della corrente distribuita a ciascun utente il peso dello zinco depositato per elettrolisi sull'elettrodo negativo in un amperometro a solfato di zinco neutro, in cui gli elettrodi sono due lastre di zinco amalgamato mantenute a distanza costante.

Man mano che, decomponendosi il sale, si deposita lo zinco ad ingrossare la lastra negativa, una eguale quantità di zinco si discioglie nell'acido all'elettrodo positivo che si assottiglia, mantenendo così sempre satura la soluzione.

Un tale amperometro funge manifestamente per la illuminazione elettrica l'ufficio del contatore nella illuminazione a gas.

87. Forza elettromotrice di polarizzazione. — Nella elettrolisi l'energia della corrente elettrica va spesa nel separare l'ossigeno dall'idrogeno nelle molecole d'acqua e si ottiene così una corrispondente quantità di energia disponibile che all'atto della combinazione dei due gas potrà somministrarne calore, oppure di nuovo elettricità.

Parlando delle pile a un solo liquido dicemmo già (§ 65) come l'idrogeno che si attacca alla lamina di rame la polarizza. Or bene, nell'elettrolisi dell'acqua gli elettrodi di platino, a cui aderiscono le bolle di ossigeno e di idrogeno, si po-

---

di miscela di gas ossigeno e idrogeno. Questa unità Jacobi, già usata dai pratici, è sette volte più piccola della nuova unità *ampère*.

larizzano in guisa che l'amperometro stesso può servire poi come un elemento di pila, ove l'elettrodo positivo (dove sta l'ossigeno) funge da polo positivo.

La forza elettromotrice di questo elemento a gas è almeno di 1.45 *volta*. Adunque per decomporre l'acqua nell'amperometro si richiederà una forza elettromotrice superiore a questo valore, in quella guisa che per sollevare il peso di 1 chilogr. ad 1 metro di altezza bisogna spendere una energia superiore a quella posseduta da 1 chilogr. che cada dall'altezza di 1 metro.

Onde, esaminando la tabella delle forze elettromotrici del § 73, si scorge che per decomporre l'acqua può bastare un elemento Bunsen, laddove si richieggono almeno 2 Daniell disposti per tensione.

88. Pile secondarie. — La *pila a gas* di Grove è appunto formata da tanti amperometri, in cui gli elettrodi sono stati previamente polarizzati dalla corrente di un'altra pila. Essa agisce finchè si sieno ricombinati i gas che aderivano alle lamine di platino, restituendo così sotto forma di corrente l'energia disponibile somministrata dalla corrente polarizzatrice

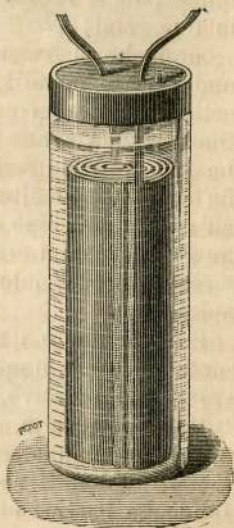
Gli *accumulatori* di Plantè, di Faure, ed altri, che hanno già avuto una applicazione nella illuminazione elettrica delle vetture, sono appunto amperometri a lamine di piombo, nei quali una corrente intensa ha ricoperto l'elettrodo positivo di biossido di piombo.

Per renderli meno resistenti si dà agli elettrodi una grande superficie (fig. 58) avvolgendo a

spirale le lastre di piombo, e si caricano riunendoli per quantità. Ciascun elemento presenta sempre una forza elettromotrice superiore ai 2 *volta*, e riunendone un certo numero in tensione si può ottenere una corrente molto intensa.

Fig. 58.

L'ufficio di questi accumulatori può paragonarsi a quello delle secchie o dei piccoli serbatoi di gas illuminante o di aria compressa, coi quali si attinge a grandi serbatoi l'acqua, la luce, l'energia meccanica per distribuirle in piccole dosi. Secondo noi, o c'inganniamo, essi sono destinati a rendere grandi servigi nella distribuzione dell'energia sotto le sue svariate forme di luce, di calore, di movimento.

89. Applicazioni. — Si comprende come la corrente elettrica sia un potente mezzo d'analisi chimica. Com'essa servì già a Davy per scoprire due nuovi metalli, il potassio ed il sodio, così venne di poi applicata alla dosatura dei metalli nei minerali che li contengono; alla separazione dei metalli preziosi mediante l'amalgamazione; alla separazione dello zinco dai suoi minerali prima disciolti negli acidi, e perfino alla rettificazione degli alcoli e alla estrazione dei colori dell'anilina.

90. Galvanoplastica. — Ma l'applicazione che ormai ha raggiunto uno sviluppo veramente industriale è la *galvanoplastica.* Essa si divide in due rami; *elettro-laminatura* ed *elettrotipia*, secondochè si tratta di ricoprire un oggetto di uno strato metallico aderente e relativamente sottile, oppure grosso e facilmente distaccabile. Quest'ultima venne inventata da Jacobi nel 1838. La prima fu introdotta da Brugnatelli di Pavia fin dal 1803, sostituendo l'*indoratura galvanica* all'antico processo della indoratura *a fuoco*, nel quale gli operai venivano colpiti dalle terribili malattie procacciate dai vapori di mercurio respirati.

Il principio è quello della elettrolisi dei sali metallici, nella quale il metallo si deposita sull'elettrodo negativo, coprendone esattissimamente tutte le rugosità, talchè staccandolo poi, esse si trovano fedelmente riprodotte in rilievo. All'elettrodo positivo si attacca una lastra del metallo che trovasi in soluzione nell'elettrolito, appunto per mantenerla sempre satura; al negativo l'oggetto da ricoprirsi. Il quale s'è metallico, basta sia pulito per bene; s'è coibente, si riveste di uno strato d'argento immergendolo in una soluzione alcoolica d'azotato; oppure si ricopre d'uno strato di grafite con un pennello. In ogni caso bisogna poi rivestire di vernice o di cera le parti dell'oggetto che non vanno ricoperte di metallo.

Gli elettroliti più usati sono: la soluzione di solfato di rame; quella di cianuro d'argento o d'oro con cianuro di potassio; quella di tetraclo-

ruro di platino in acqua e soda caustica; quella di solfato ammoniacale di nikel, ecc.

Così si ricoprono statue e cancellate per difenderle dalla corrosione dell'aria; fiori, insetti, pezzi anatomici per conservarli; s'indorano e si inargentano medaglie, posate, ecc. Il sistema *Christophle* consiste appunto nel rivestire oggetti di ottone con uno strato più o meno grosso di argento.

Per riprodurre medaglie, bassorilievi, incisioni se ne fa lo stampo in una lega fusibile, o in gesso, o in guttaperchа. Dopo averlo reso conduttore coprendone di grafite le parti da riprodursi (per solito in rame), lo si attacca al reoforo negativo d'una corrente costante che attraversa l'elettrolito, lasciandovelo per un tempo opportuno. La pratica poi suggerisce il modo conveniente per distaccare il metallo dal modello.

CAPITOLO X.

Effetti calorifici e luminosi della corrente.

---

91. Prendiamo un largo vaso (fig. 59) contenente un liquido, che supporremo mantenuto a livello costante, ed una serie di tubi verticali, riuniti fra loro alla base da un unico tubo oriz-

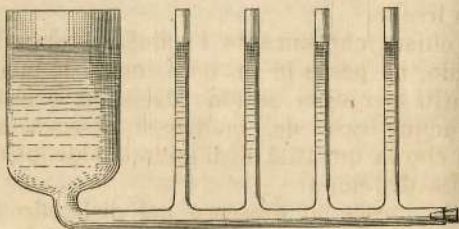



Fig. 59.

zontale, il quale da una parte mette capo sul fondo del vaso predetto e all'altra estremità potrà dar luogo all' efflusso del liquido. Finchè questa estremità rimarrà chiusa, il liquido con-

serverà in tutti i tubi un'altezza eguale a quella del vaso grande. Ma come prima sia cominciato l'efflusso del liquido (fig. 60), si osserva che il livello nei vari tubi va degradando sempre più

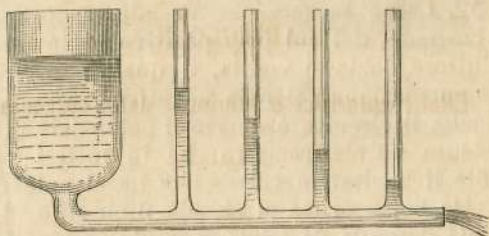



Fig. 60.

man mano che essi si trovano più lontani dal vaso grande. Se l'efflusso si arresta, immediatamente il liquido ritorna in tutti i tubi al medesimo livello.

È chiaro che durante l'efflusso tranquillo del liquido, ne passa in un dato tempo la medesima quantità per ogni sezione del tubo orizzontale, qualunque essa sia. Inoltre si osserva in ogni caso che la quantità di liquido che defluisce nell'unità di tempo:

1.° cresce al crescere del dislivello del liquido nel vaso grande al di sopra della bocca di efflusso;

2.° *a)* scema coll'aumentare la lunghezza del tubo;

b) cresce coll'aumentarne la sezione;

c) dipende infine dalla natura delle pareti del tubo.

In altri termini l'efflusso aumenta col dislivello e scema col crescere delle *resistenze* che il liquido incontra per via. Le quali resistenze consumano una parte della sua velocità che poi si tramuta in calore.

92. Legge di ohm. — Prendiamo ora una pila costante, dal cui polo positivo parte un filo conduttore quale si voglia, il quale potrà porsi in comunicazione col polo negativo.

Finchè il circuito è aperto il potenziale (quale si misura all'elettrometro) ha in tutti i punti del filo il medesimo valore che ha al polo positivo. Ma come prima si chiuda il circuito, il potenziale degrada da punto a punto sempre più a partire dal polo positivo e comincia il flusso elettrico, cioè la corrente. Aprendo il circuito, cessa la corrente, e il potenziale ripiglia in tutti i punti del conduttore il valore costante primitivo.

Anche quì a circuito chiuso passa in un dato tempo la medesima quantità di elettricità per ogni sezione nel conduttore, com'è attestato dal fatto che la potenza elettrolitica è eguale in tutto il circuito (§ 85, 2°). *La quantità di elettricità che passa per ogni minuto secondo*, ossia *l'intensità della corrente:*

1.° cresce colla forza elettro-motrice della pila;

2.° *a)* scema coll'aumentare la lunghezza del circuito;

b) cresce coll'aumentarne la sezione;

c) dipende dalla natura delle parti che formano il circuito.

Insomma l'*intensità della corrente è diretta-*

mente proporzionale alla somma delle forze elettromotrici ed è inversamente proporzionale alla somma delle resistenze del circuito.

È questa la famosa legge di Ohm, la quale egli dedusse da considerazioni analoghe a quelle sulla trasmissione del calore. Essa potrebbe compendiarsi nella frazione:

$$\text{intensità corrente} = \frac{\text{somma forze elettromotrici}}{\text{somma resistenze}}$$

93. Misura della resistenza. — Dal fatto che aumentando comunque la lunghezza del circuito scema l'intensità della corrente, deduciamo adunque che ogni corpo che fa parte del circuito d'una corrente oppone sempre una certa resistenza al suo passaggio. La quale *resistenza* è direttamente proporzionale alla lunghezza del conduttore, inversamente proporzionale alla sezione che offre al passaggio della elettricità e dipende dalla sua natura.

Si è chiamata *ohm* l'unità di resistenza ch'è quella di una colonna di mercurio a 0° lunga metri 1,06 [1] e avente la sezione di 1 millim. quadrato.

Nella tabella che segue, a sinistra sono registrati in *ohm* i valori delle resistenze di fili o di colonne liquide aventi la sezione di 1 mill.

---

[1] In pratica si usava già l'*unità Siemens* (U. S.) data da una colonna di mercurio lunga 1 metro. È facile però passare dall'una all'altra poichè

Ohm = 1,06 U. S.
U. S. = 0,941 Ohm.

quadr. e la lunghezza di 1 metro; a destra i numeri che rappresentano la conduttività relativa a quella dell'argento, che è il corpo più conduttore cioè il meno resistente. Questi ultimi numeri denotano pei metalli anco la conduttività relativa dei corpi pel calore.

Resistenza in *ohm*		Conduttività relativa		
Mercurio . . .	0,953	Argento . .	100	idem pel calore.
Platino. . . .	0,217	Rame . . .	96	
Piombo . . .	0,195	Oro	74	
Ferro	0,098	Ferro . . .	16	
Oro	0,0215	Piombo. . .	8	
Rame	0,0164	Platino. . .	7, 5	
Argento . . .	0,0160	Mercurio . .	1, 6	
Acqua .	100,000,000,000	Acido solf.	meno di 1 milionesimo	
Acido solf.°	2,000,000,000	Acqua . .		
		Vetro . .	meno di 1 bilionesimo	
		Guttapercha		

Notiamo la grande distanza tra i numeri che si riferiscono ai metalli e quelli che si riferiscono ai liquidi. Notiamo inoltre che col crescere della

temperatura la conduttività elettrica diminuisce alquanto pei metalli e aumenta pei liquidi, ossia la resistenza specifica aumenta per quelli e diminuisce per questi.

È naturale che ciascun elemento della pila oppone una resistenza al passaggio della corrente; ma essa dipende dalla natura dell'elemento, dalle sue dimensioni e dallo stato di concentrazione del liquido. Però essa viene determinata caso per caso.

94. Misura della corrente. — L'unità d'intensità detta *ampère* è la quantità di elettricità che passa in 1″ quando la F. E. M. è di 1 *volta* e la resistenza è di 1 *ohm*. Onde la legge di Ohm in unità pratiche può esprimersi con questa frazione:

$$\text{numero } \textit{ampère} = \frac{\text{numero } \textit{volta}}{\text{numero } \textit{ohm}}.$$

Si capisce che se gli elementi di una pila sono disposti *per tensione* (§ 74), da una parte cresce la somma delle forze elettromotrici, ma cresce anche la somma delle resistenze nel circuito interno. Laddove se gli elementi sono disposti *per quantità*, la forza elettromotrice della pila è sempre quella di un solo elemento, ma d'altra parte la resistenza interna è diminuita, poichè essa è eguale a quella di un solo elemento che avesse una sezione pari alla somma delle sezioni di tutti gli elementi della pila.

Esempio. La pila sia formata di 4 elementi Bunsen ($FEM = 2$ *volta*; resistenza $= 2$ *ohm* per ciascuno) e il circuito esterno abbia la resistenza

di 0, 5 *ohm*. Disponendo gli elementi per tensione si avrebbe:

$$\text{numero } \textit{ampère} = \frac{2 \times 4}{2 \times 4 + 0{,}5} = \frac{8}{8{,}5} = \frac{16}{17};$$

disponendoli per quantità:

$$\text{numero } \textit{ampère} = \frac{2}{\frac{2}{4} + 0{,}5} = \frac{8}{4} = 2.$$

Altro esempio. La pila sia di 20 elementi Daniell ($F\ E\ M = 1$ *volta*, resistenza $= 5$ *ohm* per ciascuno), il circuito esterno sia di 20 chilometri di filo telegrafico (resistenza totale 200 *ohm*). Disponendo gli elementi per tensione si ha:

$$\text{numero } \textit{ampère} = \frac{1 \times 20}{5 \times 20 + 200} = \frac{20}{300} = \frac{1}{15};$$

disponendoli per quantità:

$$\text{numero } \textit{ampère} = \frac{1}{\frac{5}{20} + 200} = \frac{20}{4005} = \frac{1}{200}.$$

In generale gli elementi conviene disporli per tensione quando la resistenza del circuito esterno è grande; per quantità, allorchè cotesta resistenza è piccola.

95. Leggi di Joule e di Favre. — Come nel caso del flusso di un liquido lungo un canale, così nel caso della corrente elettrica ogni corpo

da essa attraversato viene riscaldato pel fatto della resistenza opposta al suo passaggio. Si può dimostrarlo facendo passare una corrente anche debole per il filo del termometro di Riess già descritto (§ 52, fig. 41).

Joule misurando le quantità di calore svolto dalla corrente in una porzione di circuito formulò le seguenti leggi:

1.° La corrente di 1 *ampère* in ogni porzione di circuito avente la resistenza di 1 *ohm* svolge (in 1″) 0, 24 piccole calorie; vale a dire svolge tanto calore che basterebbe ad innalzare di 1° la temperatura di grammi 0, 24 di acqua.

2.° Quindi, ancora per la corrente di 1 *ampère*, la quantità di calore sviluppata cresce in proporzione della resistenza della porzione di circuito considerata.

3.° Cresce in proporzione del tempo che dura il passaggio della corrente.

4.° Cresce come il quadrato della intensità della corrente: vale a dire che per 2 *ampère* la quantità di calore sviluppata è quadrupla; per 3 *ampère* è nonupla che per 1 solo, ecc.

Queste leggi valgono tanto pel circuito esterno, quanto per l'interno, e però si può calcolare la quantità di calore sviluppato in tutto il circuito.

Favre trovò che essa *corrisponde sempre esattamente al calore dovuto all' azione chimica che si compie dentro la pila.*

Questo calore si distribuisce nelle diverse parti del circuito in ragione della loro resistenza. Esso rappresenta l'*energia della corrente* e si trova essere proporzionale e alla forza elettromotrice

della pila e alla intensità della corrente; in quella guisa che l'energia d'una cascata d'acqua è proporzionale alla grandezza del salto e alla massa d'acqua che cade in ogni unità di tempo. Rammentiamo di aver trovato lo stesso risultato per l'energia d'una batteria (§ 51). Ciò, s'intende bene, vale finchè la corrente non si converta in energie di altra natura che il calore. Se, per esempio, essa dovesse attraversare un elettrolito, la quantità totale del calore si troverebbe scemata di quella che gli ioni svolgerebbero ricombinandosi. Se la corrente generasse un lavoro meccanico, la quantità di calore sviluppato si troverebbe diminuita di una grande caloria per ogni 425 chilogrammetri di lavoro compiuto.

Tutto ciò venne verificato sperimentalmente dallo stesso Favre, dando così, se ce ne fosse bisogno, una nuova conferma del principio della conservazione della energia

96. Applicazioni. — Poichè adunque la quantità totale di calore svolta da una data corrente è ben determinata, e quella svolta in una porzione qualsiasi del circuito è proporzionale alla resistenza di essa porzione, sarà facile concentrare, per così dire, il calore della corrente in un dato punto del circuito, ogniqualvolta vi si faccia la resistenza di gran lunga superiore che in tutti gli altri punti. È così che con pile a larga superficie, cioè di poca resistenza interna, si può arroventare, fondere, volatilizzare un pezzo di filo di ferro, di platino e anche di carbone, inserito tra due grossi fili metallici assai meno resistenti.

97. Galvanocaustica. — Di questo fatto venne portata un'applicazione nella *galvanocaustica*. Si tratta di cauterizzare e di asportare un tessuto organico. Lo si circonda da un'ansa formata con un filo di platino e vi si lancia la corrente, aumentandola grado a grado di intensità. Mano mano che il calore e la incandescenza del filo aumenta, si stringe l'ansa che circonda il tessuto; il quale così viene nettamente tagliato, evitando anche gli inconvenienti delle abbondanti emorragie.

98. Accensione delle mine. — Dal medesimo fatto si trasse partito per l'*accensione delle mine*, la quale interessa non meno l'arte militare e la difesa nazionale che le pacifiche arti della civiltà. Si tratta quì di esser sicuri che lo scoppio della mina avvenga esattamente nel luogo e nell'istante designato. Nella *cartuccia Roberts* fa da miccia un sottile filo di ferro teso tra due grossi fili di rame e circondato da polvere pirica. In altre serve un pezzetto di filo di platino fino, circondato da cotone fulminante. Si capisce come l'incandescenza, che sorge tosto nel filo al lanciarvi la corrente, provocherà l'accensione istantanea della mina. Una sola corrente, stante la rapidità della sua propagazione, può servire all'accensione simultanea di diversi fornelli. S'intende bene che i fili che la trasportano vogliono essere convenientemente isolati, massime se si diramano sott'acqua.

99. Illuminazione elettrica ad incandescenza. — Ma la più importante applicazione della incandescenza dei fili prodotta dalla corrente è

quella della *illuminazione elettrica* già iniziata da King nel 1845, poi ritentata da Lodiguine nel 1874 su fili di platino, indi da Edison nel 1879 su fili di platino e iridio, e da Brusotti sugli stessi fili avvolti intorno a prismi di calce viva, e finalmente risolta felicemente da Edison nel 1880 impiegando una fibra di bambù carbonizzato.

Se si osserva allo spettroscopio un corpo qualunque che va man mano riscaldandosi, si nota costantemente che alla temperatura di 525° comincia a emettere dei raggi rossi; che a 600° vi si aggiungono le radiazioni verdi, a 700° le azzurre, e infine verso i 1150° lo spettro è completo, la luce è bianca e va sempre più aumentando d' intensità col crescere ulteriore della temperatura.

Acciocchè adunque un filo possa risplendere di luce viva, è necessario che resista alle altissime temperature e che possegga un grande potere emissivo di luce. A queste condizioni soddisfa appunto il carbone, il quale per di più offre al passaggio della corrente una resistenza superiore a quella dei metalli e però più facilmente si riscalda.

Nella lampada di Edison (fig. 61) la fibra di bambù carbonizzata e piegata a ferro di cavallo si salda alle sue estremità con due fili di platino, che alla loro volta sono saldati nel vetro e sporgendo fuori del palloncino vuoto che circonda la fibra, si congiungono ai reofori e trasmettono ad essa la corrente elettrica.

Delle lampade ve ne ha di varia intensità: da

8 fino a 100 candele steariche, naturalmente con varia resistenza interna, che richiedono perciò correnti intense per mantenersi accese. La luce ha una bella tinta aurata e può distribuirsi a piacimento. Essa ormai brilla tra noi con successo nei teatri ed in parecchi negozî ed opifici della città e del contado.

Fig. 61.

È notevole la semplicità con cui l'intensità della luce può essere regolata mediante un *reostata*. Consiste questo in una serie di eliche di filo metallico, ovvero in una serie di spranghette di carbone compatto, le quali possono, muovendo una manovella, essere introdotte nel circuito della corrente, od escluse a piacimento. È chiaro che aumentando o diminuendo in tal guisa la resistenza del circuito, si fa variare a piacimento l'intensità della corrente e quindi della luce.

Parecchie altre lampade vennero già introdotte dopo quelle di Edison, ma impiegando sempre fili di carbone preparati in differente maniera. Citeremo quelle di Swan, in cui il filo è di cotone carbonizzato, notevoli per la loro debole resistenza, che ricevettero perciò anche piccole di-

mensioni, fino a quello di spilla o di ciondolo di catena da orologio.

100. Illuminazione ad arco. — Più antico del precedente sistema di illuminazione elettrica *ad incandescenza* è quello d'illuminazione *ad arco voltiano.*

Sir Onofrio Davy costruì nel 1809 una pila di Volta con 2000 coppie, ciascuna di 2 decim. quadrati di superficie, e ne lanciò la corrente a traverso due coni di carbone A, B riuniti per le loro punte (fig, 62). Di subito le vide farsi incandescenti e avendole di poi staccate per breve tratto, vide brillare un nastro splendentissimo di luce, leggiermente foggiato ad arco, cui diede il nome di *arco voltiano.* Esso è formato da una specie di ponte di particelle di carbone che vengono trascinate da una punta all'altra e che in grazia della loro grande resistenza raggiungono una elevatissima temperatura. Nell'aria i due carboni bruciando si consumano, ma il carbone che comunica col polo positivo soffre un consumo doppio dell'altro. Nel vuoto c'è soltanto un trasporto di materia, ma più abbondante dal carbone positivo verso il negativo, cioè nel senso della corrente, cosicchè il primo si scava, l'altro si allunga.

A
B
Fig. 62.

Tale è l'aspetto che presentano i due carboni, quando per mezzo di lenti ne venga projettata l'immagine su uno schermaglio (fig. 63). Am-

bedue le punte sono incandescenti e coperte di bernoccoli di materie minerali fuse. L' arco centrale è azzurro; intorno brilla la *fiamma* rossiccia, vaporosa, mobile, che sovrapponendosi al primo produce una tinta violetto-purpurea; l'insieme, come fu caratterizzato dal prof. Rossetti, assume la forma di una *botte*.

101. Caratteri dell'arco. — La luce dell'arco voltiano analizzata con un prisma dà uno spettro simile a quello della luce solare, salvo che non presenta le linee nere, ma è continua e ricchissima dei raggi più refrangibili, e però molto adatta a suscitare le azioni chimiche. Ormai la luce dell' arco serve benissimo per la fotografia e il compianto Siemens a Londra mostrò come sotto la sola azione di essa crescano e si mantengano in pieno vigore e rose, e gerani, e orchidee, ecc. Secondo il prof. Rossetti la temperatura è di 3900° sul carbone positivo, di soli 3150° sul negativo, di 4800° nel mezzo dell' arco, qualunque ne sieno del resto le dimensioni e qualunque sia l' intensità della corrente: l'incremento di questa porta l'estensione delle parti luminose dei carboni e permette uno sviluppo maggiore dell'arco. Lo stesso Siemens applicò l' alto calore dell'arco voltiano al riscaldamento di un forno di materia refrattaria destinato alla fusione dei metalli. Con un arco di un' intensità luminosa pari a quella di 6000 candele, fornito da una corrente di 36 *ampères*, egli riusciva a fondere 1 chilogr. d'acciaio in meno d' un quarto d' ora!

102. Lampade ad arco. — Fra i carboni che si usano per le lampade ad arco sono notevoli

per la loro lunghezza e tenacità i carboni Carrè, formati con un impasto di coke, nero fumo e sciroppo di zuccaro di canna e gomma. Questi si consumano assai meno del carbone di legna o di semplice coke, come si usava dapprima.

Il consumo dei carboni trae seco la necessità dei *regolatori* che appunto hanno l'ufficio di riavvicinarli man mano che si consumano: altrimenti crescendo l'intervallo tra di essi, aumenterebbe rapidamente la resistenza dell'arco e la corrente andrebbe indebolendosi al punto da lasciare spegnere la lampada. Per riaccenderla sarebbe necessario ricondurre i carboni a contatto.

Moltissimi sono i regolatori automatici stati proposti specialmente in questi ultimi tempi. Citerò quello di Serrin a roteggio complicato, che ha servito finora nella illuminazione dei fari e quello di Jaspar che funzionava assai bene alla Mostra di elettricità a Parigi nel 1881. La corrente stessa, che dà la luce, circolando in un'elica di filo attrae più o meno a seconda della sua intensità un pezzo di ferro. Uno dei carboni è congiunto con questo pezzo di ferro ed è guidato d'altra parte da un contrappeso. Trovandosi da principio a contatto col suo compagno, esso ne viene allontanato per l'azione che il ferro risente dall'elica, non sì tosto si chiude il circuito. Ma se l'arco si allunga di troppo, l'intensità della corrente diminuisce, l'azione dell'elica cede a quella del contrappeso per riavvicinare i carboni, e l'intensità risorge. Se l'arco si spegne, i carboni vengono dal contrappeso immediatamente riportati a contatto, e l'arco si riaccende di nuovo.

Fig. 63. — *Imagine delle estremità d'una lampada ad arco.*

per
forn
scir
si c
o di

Il
dei
vici
cres
rapi
and
gne
cess

M
pro
terò
ha
que
Mos
ren
di
inte
con
d'a
prin
vie
dal
l'an
ren
del
ten
ver
tati

Oltre che nei fari, queste lampade monofotiche, ciascuna delle quali, cioè, è attivata da un circuito elettrico separato, rendono importanti servigi per rischiarare ai navigli l'entrata nei porti; per mandar segnali tra i legni d'una squadra o sulle coste; per sorprendere i lavori notturni del nemico; pei lavori delle miniere, dei palombari, e in generale per affrettare i lavori urgenti, come per riattare ponti e strade, e perfino per raccogliere le messi.

Ma quando più lampade debbano essere accese su un medesimo circuito, bisogna che le eventuali variazioni di una di esse non traggano seco variazioni nelle altre. A tal uopo servono benissimo i *regolatori differenziali* Siemens, nei quali la corrente, oltrechè fra i due carboni, è fatta circolare contemporaneamente anche in un cir-

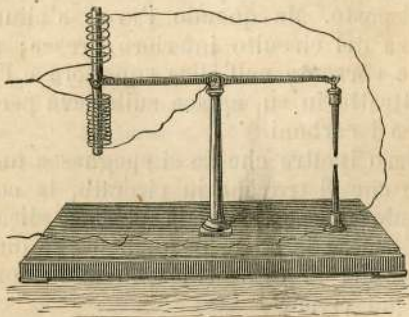



Fig. 64.

cuito derivato. Il carbone inferiore è fisso (figura 64); il superiore, pende dall'estremità di una

leva, che all'altra estremità è congiunta con un'asta di ferro. Questa entra nelle cavità opposte di due eliche di filo di rame, le quali, allorquando sono percorse dalla corrente (come vedremo nel seguente capitolo), hanno la proprietà di attrarre il ferro. La corrente si biforca in due rami: uno va all'elica superiore ch'è molto resistente, l'altro va all'elica inferiore assai meno resistente e passa anco pei carboni. Secondo che prevale la corrente in un'elica o nell'altra l'asta di ferro si alza o si abbassa venendo, per così dire, assorbita da quella dove la corrente è più forte. Ed è naturale che la corrente passerà più abbondante per la via di minore resistenza. Ora, finchè l'arco voltiano che brilla fra i carboni è breve, la resistenza del circuito inferiore è piccola, la corrente vi prevale, l'asta di ferro è attratta in basso e le punte dei carboni rimangono discoste. Ma quando l'arco s'allunga, la resistenza del circuito inferiore cresce; prevale perciò la corrente nell'elica superiore e l'asta di ferro, attratta in su, agisce sulla leva per far riaccostare i carboni.

È chiaro inoltre che se si spegnesse una delle lampade che si trovano in circuito, la corrente, seguitando a passare per la seconda elica, manterebbe accese le altre, le quali per la diminuita resistenza del circuito brillerebbero in compenso di luce più viva.

Coteste lampade a regolatori Siemens illuminano già le vie di parecchie città d'Europa e funzionano già da qualche tempo lodevolmente alla stazione centrale di Milano.

Senza regolatore sono le candele Jablochkoff, formate da cilindretti di carbone (fig. 65) disposti parallelamente, separati da uno strato di caolino e riuniti alla sommità da un sottile filo di ferro. Al lanciarvi la corrente, questo si fonde e permette all'arco di brillare fra i due carboni rendendo incandescente il caolino interposto. Ma poichè si consuma più rapidamente il carbone positivo, è necessario di impiegarvi correnti di senso alternato. Per verità la luce di queste candele è di intensità variabile, di effetto sgradevole e di uso affaticante: di più se l'arco si spegne, da sè non si riaccende. Tuttavia esse sono notevoli come primi tentativi di suddivisione della luce elettrica.

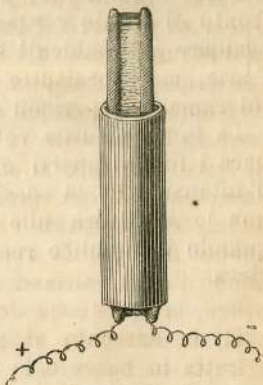



Fig. 65.

A questo scopo servivano già meglio più tardi le lampade Werdermann a semi-incandescenza, nelle quali un sottile carbone riunito al polo negativo vien premuto da una molla contro un disco pure di carbone, riunito col polo positivo. La luce di queste lampade è bianca, fissa, regolabile a volontà in limiti estesi, ed avrebbe potuto rendere importanti servigi nella illuminazione domestica, se non fossero sorte le lampade ad incandescenza.

103. La luce elettrica ormai ci si è fatta famigliare; ancorchè per ora, dove almeno la forza motrice atta a generare la corrente è troppo costosa, la luce ad incandescenza non costi meno del gas illuminante; pure essa presenta in confronto di questo vantaggi indiscutibili, e per non scaldare gli ambienti chiusi, e per non viziarne l'aria, ma soprattutto per aver eliminato quasi interamente i pericoli d'incendio.

La luce dell'arco voltiano, destinata ad illuminare i luoghi aperti o i grandi opifici, a parità d'intensità, costa assai meno del gas; ma esso non lo sostituirà sulle piazze e sulle vie, se non quando il pubblico reclami una illuminazione più ricca.

CAPITOLO XI.

Azioni elettromagnetiche.

104. Il fatto fondamentale delle azioni reciproche tra la corrente elettrica e i corpi magnetici è quello scoperto da Arago, cioè che un filo percorso dalla corrente attrae la limatura di ferro; o in altri termini, che una corrente determina intorno a sè un campo magnetico.

Se si fa passare un filo rettilineo percorso dalla corrente, attraverso un cartoncino, e si sparge su questo della limatura di ferro, la si vedrà disporsi in tanti circoli (fig. 66), per modo che le linee di forza sono altrettante circonferenze concentriche alla corrente. Si direbbe che ogni sezione del filo sia polarizzata trasversalmente.

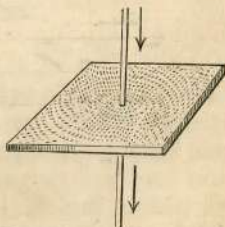



Fig. 66.

Però possiamo dividere le predette azioni elet-

tromagnetiche in tre classi: 1.° la corrente esercita un'azione direttrice sugli aghi; 2.° magnetizza i corpi magnetici; 3.° si comporta essa stessa come una calamita.

105. Scoperta di Oërstedt. — Fin dal 1802 Romagnosi di Trento osservò che una corrente elettrica faceva deviare l'ago magnetico dalla sua posizione abituale; ma non pubblicò la scoperta. Nel 1819 Oërstedt a Copenaghen scoperse che in presenza d'una corrente rettilinea l'ago magnetico tende a disporsi in direzione ad esso perpendicolare, e determinò esattamente il senso della deviazione per ogni posizione relativa della corrente e dell'ago. Ampère poi riassunse tutti i casi possibili nella seguente regola: *l'ago magnetico devia sempre col polo nord verso la sinistra della corrente,* intendendosi per sinistra della corrente la sinistra di una persona che nuoti a seconda della corrente (dal polo positivo

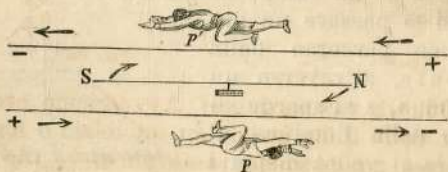



Fig. 67.

della pila verso il polo negativo) tenendo la faccia rivolta verso l'ago (fig. 67). Se il filo della corrente convenientemente isolato, per esempio ricoperto di seta, si ripiega sopra sè stesso in modo da presentare dalla stessa parte dell'ago

due rami d'una medesima corrente diretti in senso contrario, l'ago non devia. Ma se i due rami circondano l'ago (fig. 68) è chiaro dalla regola di Ampère che le loro azioni cospireranno a farlo deviare nel medesimo senso, poichè la persona che nuota secondo la corrente nel ramo superiore dovendo tenere la faccia rivolta in basso e quella che nuota nel ramo inferiore dovendola tenere rivolta in alto, avrebbero la sinistra dalla medesima parte.

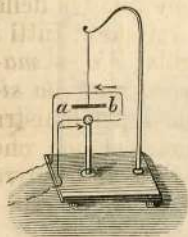
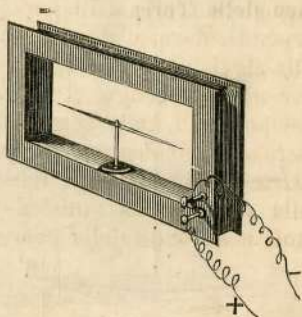



Fig. 68. Fig. 69.

106. Galvanometro. — Avvolgiamo ora parecchie volte il filo isolato su un telaio e formiamone così un *rocchetto moltiplicatore* (fig. 69), come fece per primo Schweigger: è chiaro che si sommeranno le azioni dei singoli giri della corrente su di un ago, sospeso in mezzo al telaio parellelamente ai fili.

Aggiungiamo un quadrante diviso in gradi per misurare la deviazione ed avremo un *galvanometro*, cioè uno strumento destinato ad indicare

l'esistenza, la direzione e l'intensità d'una corrente.

Si comprende come un tale apparecchio sia prezioso e come possa aver reso alla scienza importantissimi servigi. Esso fu reso ben tosto anche più sensibile dal Nobili, che sostituì ad un solo ago magnetico un *sistema astatico*, formato da due aghi riuniti coi poli di nome contrario rivolti dalla medesima parte (fig. 70), in guisa da non sentire affatto, o debolmente, l'azione direttrice della Terra.

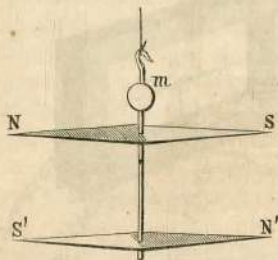
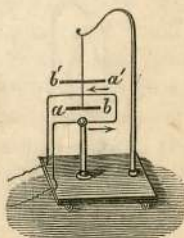



Fig. 70. Fig. 71.

Il sistema astatico è sospeso ad un filo sottile di seta: uno degli aghi pende in mezzo al telaio dei fili (fig. 71 e 72), l'altro si vede al di sopra di un quadrante diviso su cui serve anche da indice della deviazione. Riflettendo alla regola di Ampère, si vede che l'azione risultante della corrente sull'ago superiore cospira con quella sull'ago interno a far deviare il sistema nel medesimo senso; onde oltre ad avere un sistema sottratto all'azione della Terra, si ha eziandio

una azione deviatrice più grande da parte della corrente.

Più sensibile ancora si rende il galvanometro unendo al sistema mobile uno specchio, sul quale si fa cadere un fascio di luce, oppure nel quale con un cannocchiale si guardano riflesse le di-

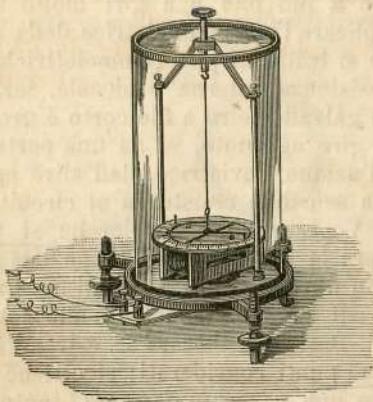



Fig. 72.

visioni di una scala in millimetri. Ogni minima deviazione dello specchio portato dall' ago produce uno spostamento sensibile nell' immagine riflessa.

Così per tali piccole deviazioni si ottiene anche il vantaggio di poter assumere a dirittura le intensità della corrente deviatrice come proporzionali alle deviazioni lette. Che se si trattasse di deviazioni angolari un po'grandi, converrebbe fare una speciale graduazione.

S' intende come in taluni casi converrà servirsi di un galvanometro a numerosi giri di filo e in altri di uno a pochi giri. Ad esempio, se si tratta di investigare le correnti proprie degli animali (§ 80), i cui tessuti presentano già una grandissima resitenza, sarà da adoperarsi un galvanometro a filo fine e a giri molto numerosi per moltiplicare l'azione deviatrice della corrente. Se invece si tratta di pile termoelettriche (§ 75), la cui resistenza interna è piccola, sarà conveniente un galvanometro a filo corto e grosso, perchè ogni giro aggiunto, se da una parte aumenterebbe l'azione deviatrice, dall'altra aggiungerebbe una sensibile resistenza al circuito.

107. Voltametro. — Allorchè si tratta di determinare la differenza di potenziale tra due punti di un filo congiunto ai poli di una pila (§ 92), si fa uso di un galvanometro a filo sottile e di molti giri. Basta far toccare le estremità di esso filo nei due punti considerati: si ottiene nel galvanometro una *corrente derivata*, tanto più intensa quanto più grande è l'*intervallo di derivazione*, ossia la resistenza compresa tra i due punti toccati.

Giacchè la resistenza interna del galvanometro adoperato è grandissima, non potrà sensibilmente influire su di essa quella piccola e variabile dell'intervallo derivato. Però la corrente derivata sarà proporzionale alla differenza di potenziale dei due punti toccati, differenza che, con una opportuna graduazione dell'apparecchio, potrà essere valutata in unità *volta*: onde il nome di *voltametro* all'apparato.

108. Azione della calamita sulla corrente mobile. — Come la corrente esercita un' azione direttrice sull' ago magnetico, così fa una calamita su d' una corrente mobile. De La Rive realizzò una corrente mobile facendo pescare nell' acqua acidulata una lastra di rame ed una di zinco fissate in un largo disco di sughero che

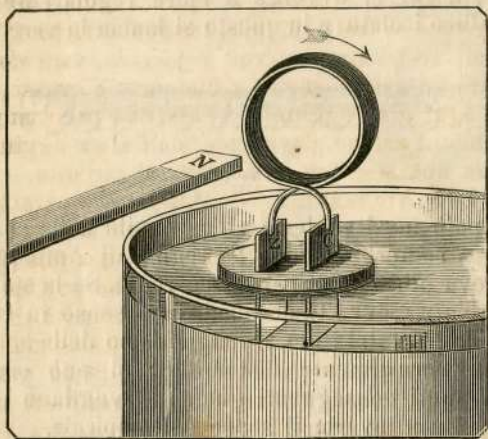



Fig. 73.

vi galleggiava e riunendole al di fuori con un filo piegato in cerchio (fig. 73). Accostandovi una sbarra calamitata, quel circuito si dirige e si muove verso di essa, in guisa che tende a portarsi col suo centro alla linea neutra lasciando ancora *il polo nord alla sinistra della corrente.*

109. Azione magnetizzatrice della corrente. — La corrente elettrica, come tende a dirigere

gli aghi magnetici perpendicolarmente a sè stessa, alla stessa guisa tende ad orientare i magneti elementari, onde s'immaginano costituiti i corpi magnetici (§ 14). Però è il mezzo più acconcio per fabbricare le calamite.

A tal uopo la sbarra da calamitare s'introduce in un tubo di vetro o di cartone (fig. 74), intorno a cui si avvolge a spire regolari un filo metallico isolato, e in questo si lancia la corrente.

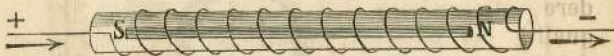



Fig. 74.

Il polo nord si desta all'estremità della sbarra che — sempre secondo la regola di Ampère — si trova alla sinistra della corrente. Se la spirale è regolare e avvolta nel medesimo senso in tutta la lunghezza del tubo, il magnetismo della sbarra riesce normalmente distribuito: si può creare tanti punti conseguenti quanti si vogliono ogni qualvolta s'inverta il senso della spirale.

Quando la sbarra è di acciaio temperato, al cessare della corrente essa conserva in gran parte il magnetismo acquistato: insomma è divenuta una calamita permanente. Quando invece è di ferro dolce, la sbarra perde, col cessare della corrente, pressochè del tutto il magnetismo ricevuto; la piccola parte che le rimane è detta *magnetismo residuo* ed è dovuta al non essere il ferro perfettamente dolce.

110. Elettrocalamita. — Una sbarra di ferro

circondata da una spirale magnetizzante si dice *elettro-calamita*: essa è una potente calamita temporaria durante il passaggio della corrente. Segnatamente quand' è foggiata a ferro di cavallo (fig. 75) possiede una grandissima forza portativa: Joule ne costrusse una che reggeva più che una tonnellata.

Fig. 75.

L'intensità del magnetismo che un elettromagnete può prendere, oltrechè dipendere dalla qualità del ferro impiegato e dal diametro della sbarra *è proporzionale all' intensità della corrente magnetizzante e al numero dei giri della spirale,* qualunque sia del resto il loro diametro e la grossezza e la natura dei fili.

Come si è già notato altra volta (§ 18), la magnetizzazione non penetra molto addentro, se la sbarra è sufficientemente grossa; però quando si ha a disposizione una corrente non molto intensa converrà adoperare una elettrocalamita formata di tanti tubi coassiali, cioè posti uno dentro l'altro sul medesimo asse.

111. Solenoide. — Con un filo metallico isolato fabbrichiamo un *solenoide,* cioè una specie di tubo (fig. 76) formato da una serie di circoli aventi i centri su una retta: di poi ripiegate le due estremità del filo a uncinetto, sospendiamo il solenoide sull' *apparato a colonne* di Ampère.

Consiste questo in due colonne metalliche isolate aventi ciascuna un braccio pure metallico orizzontale che termina con una capsuletta di ferro

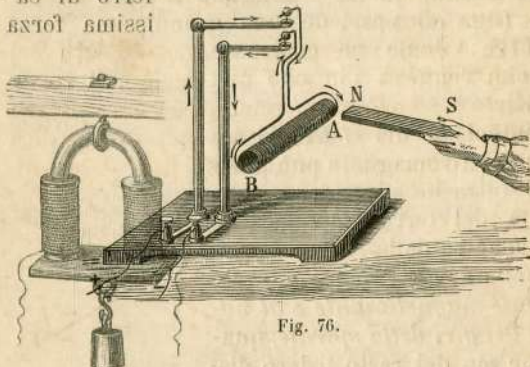



Fig. 76.

destinata a essere riempita di mercurio. Si appoggiano gli uncinetti del solenoide in queste capsulette, in guisa ch'esso sia libero di girare intorno ad un asse verticale, e poi si congiungono i poli della pila coi piedi delle due colonne: la corrente invade il filo del solenoide e questo si dispone immediatamente col suo asse AB nel meridiano magnetico e vi ritorna se ne viene spostato. Accostandovi alle estremità i poli di una calamita NS si osservano attrazioni e ripulsioni come tra i poli di due calamite; parimenti accostando tra loro le estremità di due solenoidi. Insomma un solenoide si comporta in tutto e per tutto come un magnete, in cui farebbe da polo sud l'estremità dove la corrente — a un osservatore che la guardasse nella direzione dell'asse

del solenoide — si mostrerebbe procedere nel senso delle lancette di un orologio (fig. 77); il che manifestamente è ancora conforme alla solita regola di Ampère che vuole il polo nord alla sinistra della corrente.

112. Azioni elettrodinamiche. — I fatti dei solenoidi vennero scoperti da Ampère, il quale considerò i fenomeni magnetici siccome dovuti a semplici azioni *elettrodinamiche*, vale a dire ad azioni reciproche tra correnti fisse e mobili.

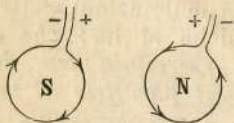
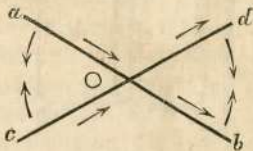



Fig. 77. Fig. 78.

Le azioni elettrodinamiche fondamentali sono le seguenti:

1.° Due correnti rettilinee parallele si attraggono o si respingono secondochè sono dirette nel medesimo senso o in senso contrario.

2.° Due correnti rettilinee (fig. 78) dirette ad angolo si attraggono o si respingono secondochè procedono nel medesimo senso o in senso contrario rispetto al vertice dell'angolo (vedi le freccie).

3.° Una corrente sinuosa esercita sopra un' altra corrente mobile la medesima azione d'una corrente rettilinea avente i medesimi termini.

Dei primi due fatti è facile dare la prova ac-

costando opportunamente un ramo rettilineo di corrente ad un lato d'una corrente mobile rettangolare, sospesa sull'apparato di Ampère. Pel 3° fatto basta sul ramo rettilineo ripiegare in senso contrario e tortuosamente il filo della medesima corrente (fig. 79): l'azione delle due porzioni *o n*, non è eguale e di segno contrario, perciò nulla l'azione sulla corrente mobile *B C*. Riguardo poi alla intensità delle azioni elettrodinamiche si ha: *che la forza esercitata tra due porzioni parallele di circuito è proporzionale al prodotto delle intensità delle due correnti, alla lunghezza di esse porzioni, ed inversamente proporzionale alla distanza delle medesime.*

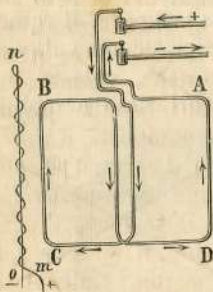



Fig. 79.

Su queste basi Ampère fondò la teoria dei fenomeni magnetici ed elettromagnetici, considerando le calamite come una semplice riunione di correnti, paragonabile a un solenoide, dovuta a correnti che circolano incessantemente intorno a ciascuna molecola. Anzi, secondo Ampère, la Terra stessa sarebbe da ritenersi come un enorme solenoide, in cui le correnti sarebbero dirette, nel senso dei paralleli, da est a ovest e probabilmente di origine termoelettrica, dovute al calore che il sole viene suscitando man mano nei diversi punti della superficie terrestre nel suo moto apparente diurno.

113. Comunque sia di queste idee, le quali non si potranno definitivamente accettare o respingere, finchè non sia accertata la natura della elettricità, non vogliamo lasciare questo argomento senza accennare, che non solo i corpi che abbiamo chiamati magnetici, ma le sostanze tutte risentono l'azione della calamita. Ciò si è dimostrato impiegando dei potenti elettromagneti. Ma alcune si comportano come il ferro; altre anzichè attratte, vengono respinte dalla calamita inducente. Le prime si chiamano sostanze *paramagnetiche* quali sono il ferro e composti, il nikel, il cobalto, il cromo, il manganese, il cerio, il titanio, l'ossigeno. Le altre si chiamano *diamagnetiche* e vi appartengono il bismuto, il fosforo, l'antimonio, l'oro, l'argento, il platino, il mercurio, il rame, il piombo, lo zinco, l'acqua, l'alcool, il solfo, il selenio, l'aria, l'idrogeno.

Parimenti accenneremo che un fascio di raggi di luce, attraversando un corpo trasparente, si comporta in modo diverso del consueto, allorchè il corpo si trova sotto l'influenza di una forte calamita o di un corpo fortemente elettrizzato; segno manifesto che lo stato magneto-elettrico di un corpo influisce sulla distribuzione dell'etere ch'è il supposto veicolo della luce. Anzi certe relazioni tra il potere induttivo specifico (§ 36, 7.°) dei coibenti trasparenti e il loro indice di refrazione, ed altre relazioni più importanti concernenti la velocità di propagazione della luce e delle azioni elettromagnetiche hanno portato ad una teoria, che attribuisce anche queste ultime ad un movimento particolare dell'etere e che

promette di diradare le tenebre intorno alla natura della elettricità.

Se non che l'esame particolareggiato di queste idee ci porterebbe fuori dei limiti imposti a questo Manuale.

CAPITOLO XII.

Avvisatori, telegrafi e motori elettrici.

---

114. Gli elettromagneti, in grazia della loro facoltà di acquistare e di perdere issofatto la polarità magnetica col semplice chiudere ed aprire del circuito della corrente e in grazia della rapidità con cui questa si propaga, vennero ben tosto applicati a trasmettere segnali a distanza.

In tutti gli avvisatori si tratta sempre di un' áncora di ferro dolce trattenuta da una molla a breve distanza dai poli di un elettromagnete: al passaggio della corrente, l' áncora viene attratta; al cessare di essa, questa viene abbandonata dai poli magnetici e ritirata dalla molla antagonista alla posizione di prima.

115. Campanello elettrico. — Nel campanello elettrico (fig. 80), mentre si tiene premuto il bottone *M* (rappresentato a parte in sezione), la corrente passa dal polo positivo d' una pila Leclanché *P* all' elica d' una elettrocalamita, indi in una molla che regge l' àncora del battaglio

B, poi dalla molla pel contatto *C* ritorna al polo negativo della pila. L'elettrocalamita si eccita; attirando l'áncora, fa battere il battaglio sul campanello e interrompe il circuito in *C*. In allora

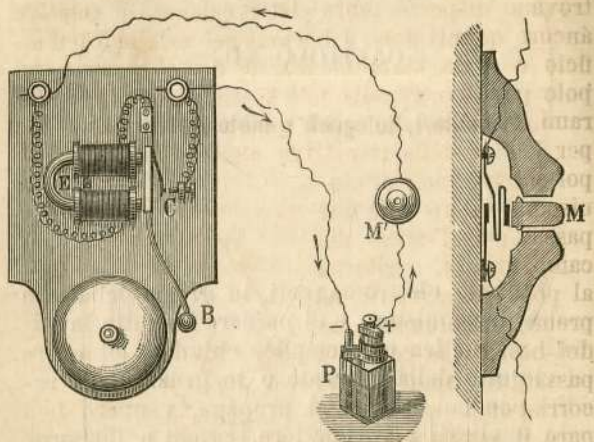



Fig. 80.

cessa la polarità dei nuclei e la molla antagonista, ritirando l'áncora, ristabilisce il contatto: ripassa la corrente, l'áncora vien di nuovo attratta, e così via. Il martello in tal guisa batte rapidi e ripetuti colpi sul campanello, finchè rimane premuto il bottone *M*.

S' intende bene che il circuito, invece che dalla mano, potrebbe venir chiuso, ad esempio, dal mercurio che salendo nel tubetto di un termometro viene a contatto con un filo di platino saldato nel vetro in corrispondenza di una certa

temperatura, come si usa nei *pirometri elettrici*; oppure da una molla attaccata a una porta che si apre, ecc.

Nei *quadri* pei campanelli elettrici (fig. 81), si trovano disposte tante elettrocalamite e relative áncore quanti sono i bottoni pel servizio dell'ufficio o dello stabilimento. Il filo che parte dal polo positivo *P* della pila si divide in altrettanti rami, ciascuno dei quali passa pel bottone *B* e per l'elica della rispettiva elettrocalamita *E*; di poi cotesti rami si riuniscono in un solo che passa per l'elica del campanello *C* e ritorna al polo negativo *N*. Al premere uno qualunque dei bottoni, la corrente passa pel ramo che vi corrisponde e fa suonare il campanello; ma nello stesso tempo si eccita la corrispondente elettrocalamita del quadro, la quale attirando l'áncora fa alzare un numero; la persona addetta al servizio, dopo aver così rilevato donde sia partita la chiamata, lo rimette subito a posto tirando un cordoncino.

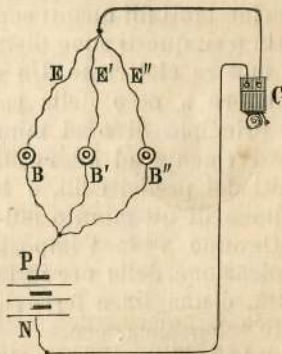



Fig. 81.

116. Orologi elettrici. — Un orologio elettrico è propriamente il congegno nel quale il pendolo mantenuto in movimento esso stesso da elettromagneti apre e chiude il circuito di altri elettromagneti, le cui áncore muovono il roteg-

gio. D'ordinario nelle città e sulle ferrovie sono in uso le *mostre elettriche* che a distanza notevole ripetono l'ora segnata da un orologio regolatore. In ciascuna di esse trovasi un elettromagnete, e quando v'entra la corrente, l'attrazione dell'áncora determina un movimento in un congegno di leve, pel quale viene cacciato un nottolino nella corona di una ruota a denti ricurvi, costringendola a girare sul proprio asse dell'intervallo di un dente.

A Milano, per esempio, si diramano da Palazzo Marino tanti fili quanti sono i corsi principali della città e su questi sono distribuite per *derivazione* [1] le mostre elettriche. Un eccellente orologio regolatore a peso della casa Hipp di Neuchatel, al principio di ogni minuto primo chiude successivamente ad intervalli di un secondo i circuiti dei predetti fili, e le lancette delle mostre saltano di un minuto sul quadrante.

Ognuno vede l'importanza di una uniforme indicazione delle ore in molti punti di una stessa città, d'una linea ferroviaria, negli uffici d'una rete telegrafica, ecc.

117. Telegrafi. — Stante la rapida propagazione dell'elettricità nei fili metallici, si cercò ben presto di utilizzarla nella telegrafia. Già fin dal 1774 si era tentato un telegrafo coll'attra-

[1] Ciò significa che il filo principale della linea non circonda il nucleo dell'elettromagnete della mostra, ma che il filo dell'elica di questo si attacca con un capo a un punto del filo di linea e coll'altro per mezzo dei tubi del gas illuminante alla Terra; talchè un guasto sopravvenuto in una delle mostre non impedirebbe che le altre seguitassero a funzionare regolarmente.

zione elettrica dei pendolini e colle scintille; più tardi (1808) coll'elettrolisi; di poi (1821) colla deviazione dell'ago magnetico; indi (1831) cogli elettromagneti. Da principio serviva di segnale il rumore prodotto dall'urto dell'áncora contro il nucleo; più tardi il movimento dell'áncora determinava, come nelle mostre elettriche, il movimento di una lancetta su d'un quadrante su cui stavano segnati i numeri e le lettere; finalmente nel 1837 Morse introdusse il telegrafo scrivente che portò una rapida diffusione delle linee telegrafiche così pubbliche come private.

Ogni sistema di telegrafia consta, oltre gli accessori, di un elettromotore, della linea, del tasto, e del ricevitore.

Per elettromotori si usano d'ordinario le pile alla Daniell che somministrano una corrente costante. Le coppie in uso nei nostri uffici hanno ciascuna circa 10 *ohms* di resistenza interna e nella pila se ne suole aggiungere una per ogni 50 *ohms* all'incirca di resistenza che la corrente deve superare lungo la linea. Nella telegrafia militare invece delle pile per generare la corrente si adoprano le macchine magneto-elettriche che, come vedremo, portano minori incagli nel trasporto e nella manutenzione.

La linea è il reoforo che trasmette la corrente fra due stazioni. Steinheil nel 1837 insegnò di sopprimere il filo di ritorno, ma di mettere in buona comunicazione colla Terra ad una stazione il polo negativo della pila, all'altra l'estremità del filo di linea che vi giunge.

Le linee ponno essere aeree, sotterranee, subacquee.

Le linee aeree sono di filo di ferro galvanizzato, cioè ricoperto di zinco per difenderlo dalla ruggine, da 3 a 5 millim. di diametro. Esso si appoggia su *isolatori* di vetro o di porcellana, di forma opportuna perchè vi sfugga l'acqua: i bracciuoli di ferro che li sostengono sono infissi nei muri o su pali piantati nel terreno ad opportune distanze.

Nelle linee sotterranee i fili metallici sono rivestiti di gutta-percha e posti entro tubi di piombo per difenderli dai guasti dell'umidità e dei rosicchianti. Poichè le linee aeree portano necessariamente ingombro e vanno soggette a guasti per le bufere ed a facili manomissioni per parte di malintenzionati, sarebbe conveniente di sostituirle colle linee sotterranee, se l'impianto di queste non costasse eccessivamente in confronto delle prime.

118. Telegrafo sottomarino. — Nelle linee subacquee il *cánapo* (fig. 82) è formato da un'*anima* di fili di rame intrecciati, protetta da un *inviluppo coibente* e coperta esternamente da un'*armatura* di fili di juta e di grossi fili di ferro avvolti a spira. Il tronco litorale, come soggetto ad essere sbattuto dalle onde contro gli scogli, è più grosso e pesa circa 20 tonnellate per ogni nodo (di metri 1855,3); il tronco intermedio pesa solo 6 tonnellate; il tronco principale collocato nel mare profondo pesa soltanto

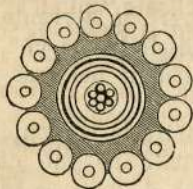



Fig. 82.

tonnellate 1, 7, ed è perciò più pieghevole alle manovre della immersione. La quale è un'operazione delicata e difficile che richiede molta abilità e sangue freddo. La costruzione e la posa delle gomene sottomarine ha dato origine a nuove industrie; è dessa un'opera grandiosa che certamente onora il nostro secolo.

Diciamo subito che lungo le gomene la corrente subisce dei ritardi notevoli, giacché esse possono assomigliarsi ad un condensatore, di cui l'anima fa da armatura interna e l'acqua del mare da armatura esterna. Però colle elettrocalamite, che richiedono correnti abbastanza forti, i segnali riuscivano troppo lenti. Fu perciò necessario di ricorrere a mezzi più delicati.

Nei telegrafi transoceanici i segnali vengono raccolti dall'ago di un delicato galvanometro, il quale deviando a destra od a sinistra, secondo il senso delle correnti che vengono trasmesse, indica *punti* o *linee* e perciò lettere o numeri di un alfabeto convenzionale. Thomson per rendere l'apparecchio anche più delicato, unì all'ago dapprima uno specchietto su cui si rifletteva un raggio di luce; di poi il *siphon recorder* che scrive su una striscia di carta i segnali ricevuti. Consiste questo in un piccolo sifone di vetro di cui il ramo corto pesca in un calamaio e il ramo lungo affilato si trova vicino, senza toccarlo, ad una striscia di carta che scorre sotto di esso per un movimento di orologeria. L'inchiostro viene spinto fuori dalla punta del sifone per una carica elettrica che si comunica all'inchiostro del calamaio e, finchè l'ago sta fermo,

lascia traccia sulla linea mediana della striscia di carta. Ma quando l'ago, cui è unito il sifoncino, devia a destra o a sinistra, l'inchiostro segna le tracce lateralmente sulla carta, le quali permettono di rileggere i segnali quante volte si voglia.

119. Telegrafo di Morse. — Sulle linee ter-

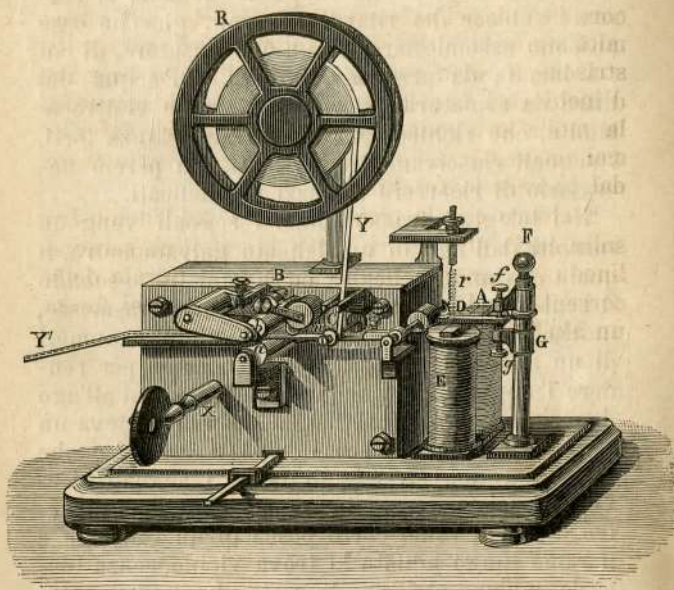



Fig. 83.

restri è usato su larga scala il ricevitore scrivente di Morse. Sopra i nuclei di un elettromagnete *E* a ferro di cavallo e colle branche verticali

(fig. 83) v'è un'áncora di ferro dolce fissata all'estremità di una leva di primo genere, ed è tenuta a breve distanza dai nuclei per una molla antagonista *r*; sull'altra estremità della leva corre una striscia di carta *Y* che si svolge da un tamburo *R* fra due cilindri *a*, *b* mossi da un congegno di orologeria caricato a molla. Quando la corrente passa nell'elica dell'elettromagnete, l'áncora di ferro si abbassa verso i nuclei, e l'estremità opposta della leva sollevandosi spinge la striscia di carta contro una rotellina *m* bagnata d'inchiostro da stampa. Al cessare della corrente, la molla antagonista *r* solleva l'áncora dai nuclei smagnetizzati e così la striscia di carta cessa dal toccare la rotellina.

È chiaro che le tracce lasciate dall'inchiostro sulla carta che scorre sotto la rotellina saranno linee più o meno lunghe secondo la durata della corrente, ossia linee o punti, coi quali si forma un alfabeto convenzionale.

Alfabeto Morse.

A .—	H	Q ——.—
B —...	I ..	R .—.
C —.—.	L .—..	S ...
D —..	M ——	T —
E .	N —.	U ..—
F ..—.	O ———	V ...—
G ——..	P .——.	Z ——..

1 .————	6 —....
2 ..———	7 ——...
3 ...——	8 ———..
4 ....—	9 ———
5	0 —————

La durata della corrente nel ricevitore, è perciò la lunghezza e l'intervallo delle lineette, viene regolata da chi trasmette il dispaccio per mezzo del tasto o manipolatore. Questo consiste in una leva metallica girevole intorno al punto *A* (fig. 84) col quale comunica il filo di linea *L*. Una molla *f*

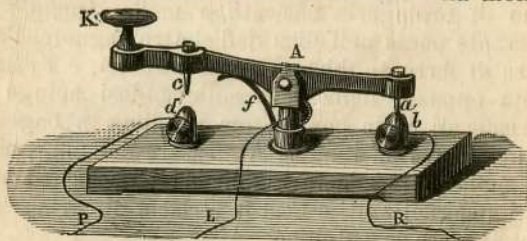



Fig. 84.

la tiene abbassata sull'ancudinetta *b* che comunica coll'elica del ricevitore *R* del luogo e però pronta a ricevere la corrente che giunga dalla linea. Premendo sul bottone *k*, l'estremità *a* si solleva escludendo così dal circuito il ricevitore; l'altra estremità *c* abbassandosi a toccare l'ancudine *d* che comunica col polo positivo della pila *P*, ne chiude il circuito e la corrente viene lanciata lungo la linea.

In ogni stazione telegrafica vi ha poi gli accessori del *galvanometro* (detto comunemente *bussola* dai telegrafisti), del *parafulmine* e talvolta del *soccorritore* o *relais*.

Il galvanometro è ad ago semplice come quello di Schweigger e serve ad indicare l'esistenza e l'intensità della corrente e quindi a svelare le interruzioni o i guasti avvenuti sulla linea.

Il parafulmine o scaricatore è stato già descritto al § 58. Una delle lastre di ottone è in comunicazione colla Terra, l'altra col filo di linea; per

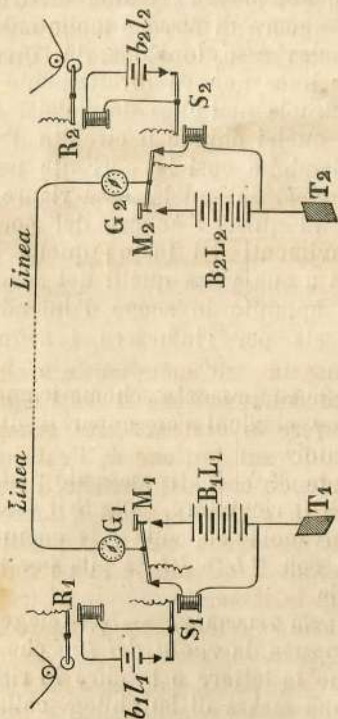



Fig. 85.

modo che l'elettricità indotta in questo dall'influenza delle nubi temporalesche si scarica mano mano per le punte nel suolo, evitando così i

danni che ne potrebbero venire o alle persone o agli apparati dalle forti scariche della elettricità atmosferica.

Il *relais* o *soccorritore* è una elettrocalamita con relativa áncora di ferro e molla antagonista. Negli uffici dov'esso funziona, la corrente che giunge dalla linea non va direttamente al ricevitore, ma circola nell'elica del relais. L'áncora attratta dai nuclei chiude il circuito d'una *pila locale*, lanciandone così la corrente nel ricevitore; scostandosi dai nuclei essa riapre il detto circuito. In tal guisa l'àncora del soccorritore ripete i movimenti del tasto; quella del ricevitore ripete a sua volta quelli del soccorritore; il quale ha appunto lo scopo d'introdurre una corrente locale per rinforzare i segnali sulla carta.

La figura 85 rappresenta schematicamente l'impianto di due stazioni con apparati di Morse e con soccorritori.

Colla lettera M è contrassegnato il trasmettitore, colla R il ricevitore, colla S il soccorritore, colla G il galvanometro, colla T la comunicazione colla Terra; con BL e bl la pila per la linea e la pila locale.

120. Altri telegrafi. — Nel telegrafo stampante di Hugues, la *ruota dei tipi* che porta sul suo contorno le lettere e le cifre in rilievo, vien mossa da una massa di 50 chilog. colla velocità di 2 giri al minuto secondo.

Quando arriva la corrente dalla linea in un elettromagnete, il movimento dell'àncora spinge contro la ruota il nastro di carta che scorre al

solito modo e vi fa rimanere impressi i caratteri che all'uopo si mantengono bagnati d'inchiostro da stampa. Il manipolatore è una tastiera da pianoforte, a ciascun tasto della quale corrisponde una lettera od una cifra. Abbassando uno di essi, vien lanciata la corrente sulla linea e spinto per essa il nastro di carta contro il carattere corrispondente sulla ruota dei tipi nella stazione ricevente. La descrizione particolareggiata di questo meraviglioso apparecchio non può comprendersi nei limiti di questo manuale. Basti dire che con esso si possono trasmettere 60 dispacci all' ora.

121. Senza elettromagneti funzionano i *telegrafi chimici.* Il principio è dello scozzese Bain. Una carta imbevuta di ferrocianuro di potassio (prussiato giallo) e di azotato ammonico lascia una traccia azzurra nel punto ove viene investita da una corrente. Si capisce perciò come un nastro di carta bagnato dei predetti sali, che si muovesse tra due punte congiunte colla linea e colla Terra, potrebbe tradurre in punti e linee i movimenti del tasto trasmettitore.

Il *pantelegrafo Caselli* appartiene pure alla classe dei telegrafi chimici. Con esso si possono trasmettere autograficamente i caratteri alfabetici di tutte le lingue, i disegni e le firme autografe.

122. Una linea telegrafica vale commercialmente tanto più, quanto maggiore è il numero di telegrammi che si possono spedire in un dato tempo. Il sistema Morse richiede in media 4 segni per lettera, cioè 24 circa per parola; quindi coi movimenti intermittenti che deve fare la mano

sul tasto non si possono trasmettere all' ora più di 20 dispacci di 20 parole. Però la rapida diffusione del telegrafo e i crescenti bisogni del commercio avrebbero portato ben presto un enorme aumento di linee e di personale. Si ebbe ricorso ai telegrafi automatici, multipli e a trasmissione simultanea.

Molto usato in Inghilterra è il sistema *automatico* di Wheatstone. Con esso i segni del dispaccio vengono incisi su un nastro di carta che poi si stende sul contorno di una ruota, e questa girando rapidamente in presenza di uno stilo che comunica col polo di una pila, ne lancia la corrente lungo la linea ad ogni passaggio delle incisioni. Si trasmettono fino a 100 parole al minuto, cioè circa 300 dispacci all' ora.

Col *telegrafo multiplo* di Meyer quattro impiegati possono approfittare successivamente di $^1/_4$ di minuto secondo per trasmettere una lettera del proprio dispaccio. Una lamina che gira in un $1''$ su un cerchio, venendo successivamente a contatto di risalti metallici comunicanti colla pila, ne trasmette lungo quattro differenti linee la corrente; poichè ciascun impiegato ha a sua disposizione un quadrante del disco, ed agendo su opportuni tasti vi predispone durante $^3/_4$ di secondo i risalti che corrispondono alla lettera da trasmettersi nel successivo quarto. Con questo sistema ogni impiegato può trasmettere adunque 60 lettere al minuto, cioè un dispaccio in 2 minuti, perciò 4 dispacci tra tutti.

Nei telegrafi *a trasmissione simultanea*, si dice *duplex* quello con cui si possono inviare due cor-

renti in senso contrario su uno stesso filo. Il ricevitore ha i nuclei avvolti da due eliche: per una di esse passano le correnti della linea sì in un senso che nell'altro; per la seconda passa la corrente di una pila locale, ma solo quando per la prima passa la corrente inviata dalla stazione mittente: la corrente della pila locale è appunto destinata a neutralizzare l'azione sui nuclei del ricevitore della stazione quando da questa viene inviata la corrente sulla linea.

Si chiama *diplex* il sistema con cui si trasmettono contemporaneamente due dispacci sul medesimo filo e nel medesimo senso. Quì si fa uso di *relais* già magnetizzati in un determinato senso, che perciò sentono soltanto le correnti che ricevono in un senso pure determinato. Il *quadruplex* è una combinazione del *duplex* e del *diplex*, tanto che si trasmettono contemporaneamente quattro, sei e perfino otto dispacci su un medesimo filo.

Questi sistemi a trasmissione simultanea sono di già molto usati in Inghilterra e agli Stati Uniti. Il *duplex* applicato al telegrafo stampante Hugues dà 120 dispacci all'ora; coll'automatico Wheatstone ne dà fin 400. Anche nelle linee sottomarine col *siphon recorder* ne dà 120; talchè mentre nel 1866 ogni parola trasmessa sul telegrafo transoceanico costava 26 lire, ora non costa che circa mezza lira.

123. Motori elettrici. — Il movimento di va e di vieni che fa un'àncora di ferro in presenza dei nuclei di un elettromagnete al chiudere e all'aprire del circuito d'una corrente, può

essere trasformato in movimento di rotazione come quello dello stantuffo d'una macchina a vapore. È questa la prima idea dei motori elettromagnetici. In altri una ruota a palette di ferro può girare vicino alla testa di un elettromagnete. Al primo passaggio della corrente, questo attrae la paletta più vicina: il movimento stesso della ruota interrompe il circuito; ma per l'impulso ricevuto, la paletta attratta oltrepassa la testa del nucleo e in questo movimento richiude il circuito della corrente. Allora il nucleo attira la paletta seguente e così via; in guisa che la ruota concepisce un movimento rapido di rotazione.

Si comprende come dall'albero di questa ruota il movimento potrà essere trasmesso ad una macchina operatrice, a una pompa, alle ruote di un bastimento, a quelle di una vettura, ecc. È la trasformazione della energia della corrente in energia meccanica.

Da Jedlik e da Dal Negro, che idearono i primi motori elettrici verso il 1830, e da Jacobi che nel 1839 tentò di applicarli alla navigazione sulla Newa, se ne ebbero fino ad oggi foggie svariatissime, a seconda degli usi cui erano destinati.

Noi non descriveremo che due forme tra le più moderne, le quali riassumono i grandi progressi fatti da alcuni anni nelle applicazioni dell'elettricità: cioè il motore Pacinotti e quello di Marcel Deprez.

124. Motore Pacinotti. — Fra le branche *N*, *S* di una potente calamita a ferro di cavallo (fig. 86), un anello di ferro dolce è girevole intorno al proprio asse *O*. Su di esso è avvolto in

più spire DE, $D'E'$, $D''E''$, e sempre nello stesso senso, un filo di rame isolato; ad intervalli eguali i capi contigui di due spire consecutive vengono

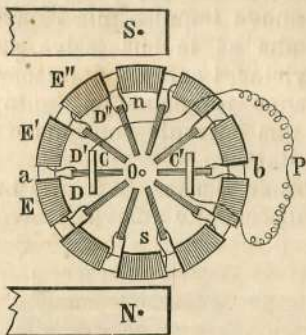



Fig. 86.

a saldarsi ad una striscia metallica piegata verso il centro, in maniera che tutte le striscie vengono a circondare, senza toccarsi, l'asse di rotazione dell'anello.

Se due striscie opposte C, C' vengono toccate coi reofori di una pila P, la corrente dividendosi in due rami, magnetizzerà l'anello di ferro (sempre secondo la regola di Ampère), in guisa da formarne come due elettrocalamite curve coi poli del medesimo nome affacciati; e cioè se in b si eccitano due poli nord, in a si formeranno due poli sud.

Allora i poli N, S della grossa calamita permanente attireranno rispettivamente quelli di nome contrario destatisi nell'anello, ponendolo in ro-

tazione. Nel movimento i reofori della pila vengono a contatto con due striscie successive e nuovi poli si suscitano come prima nei punti a e b: nuova attrazione per parte dei poli permanenti N, S; nuovo impulso alla rotazione, ecc.

È chiaro che se le successive striscie sono abbastanza vicine, i contatti coi reòfori della pila si succederanno rapidamente, tanto da potersi avere come una corrente continua e quindi una rotazione costante.

125. Motore Deprez. — Fra le branche N, S di un fascio di calamite a ferro di cavallo (fig. 87),

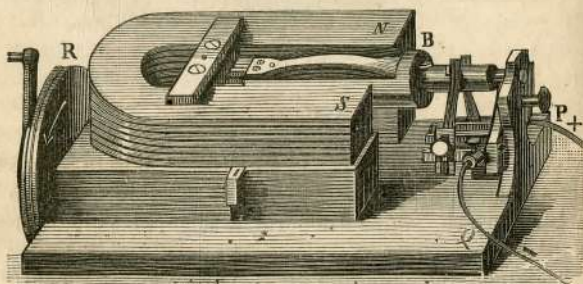



Fig. 87.

e paralellamente ad esse è girevole un' *armatura Siemens*, cioè un rocchetto B di ferro dolce su cui è avvolto longitudinalmente, come sopra una spola da tessitore, il filo di rame isolato, i cui capi comunicano colle lastrine metalliche isolate di un *commutatore di Clarke*. Queste lastrine (fig. 88) coprono due larghi segmenti o, o', diametralmente opposti, della superficie laterale di un ci-

lindro isolante di osso o di ebanite montato sul medesimo asse di rotazione dell' armatura.

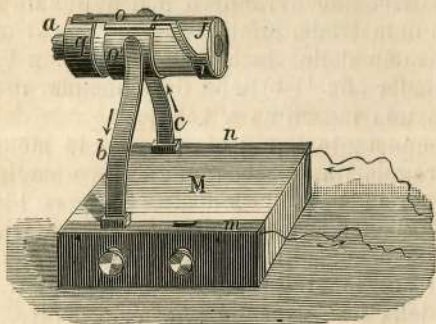



Fig. 88.

Allorchè la corrente giungendo alle lastrine, per mezzo di due molle *b, c,* che vi si appoggiano con dolce pressione, invade l'elica dell'armatura, si polarizzano le due facce del nucleo di ferro e vengono attratte dalle branche eteronime della calamita permanente a ferro di cavallo. L'armatura perciò comincia a girare e con essa il commutatore; ma in questo movimento la lastrina che toccava il reoforo positivo della pila passa a toccare il negativo e viceversa, onde il nucleo dell'armatura si polarizza in senso contrario a quello di prima. La faccia di esso che prima era attratta dalla branca *N*, ora lo è dalla branca *S* e nello stesso senso della rotazione. Ma di nuovo s' invertono i contatti sul commutatore, nuova polarità quindi invertita nel nucleo, e così via.

126. Se non che ove non si fosse rinvenuto

il modo di produrre forti correnti elettriche con mezzi meno costosi che non siano le pile, i motori elettrici non avrebbero mai avuto un'applicazione industriale. Infatti l'energia che si ottiene dal consumo dello zinco nelle pile costa ben 20 volte quella che si ottiene dal consumo del carbone in una macchina a vapore.

Ciò nonostante quelli si usarono in molti casi per la regolarità e precisione dei loro movimenti, specie per operazioni delicate, e senza bisogno di sorveglianza, e senz'altri organi di trasmissione che un semplice filo di rame.

Ma il pregio singolare dei motori elettrici è quello della loro *invertibilità*. Vale a dire, come l'armatura di un motore viene posta in rotazione per l'azione di una corrente, così reciprocamente il movimento di rotazione dell'armatura genera una corrente, la quale si può raccogliere in un circuito esterno e trasmettere a distanza. Come ciò avvenga,[1] sarà dichiarato nei seguenti capitoli.

CAPITOLO XIII.

Correnti d' induzione.

127. Magnetismo di rotazione. — Nel 1824 Gambey a Parigi osservò che un ago magnetico messo ad oscillare sotto l'azione del magnetismo terrestre, si ferma più presto quando si muova in prossimità di masse conduttrici, anche non magnetiche.

Soggiungiamo subito che questo fatto suggerì ben tosto di fare metallico il disco del quadrante dei galvanometri per smorzare le oscillazioni dell' ago.

Il fatto fu interpretato da Arago, nel senso che si esercitasse tra i poli magnetici e la massa conduttrice una forza, che ne impedisse il movimento relativo. Egli stesso facendo girare rapidamente un disco di rame sotto un ago magnetico posto in bilico (fig. 89) costrinse l'ago a girare nel senso stesso del disco.

Più tardi Herschell e Babbage facendo rotare rapidamente una forte calamita a ferro di cavallo

sotto un disco di rame sospeso in prossimità de' poli, lo videro seguirli nel loro movimento di rotazione.

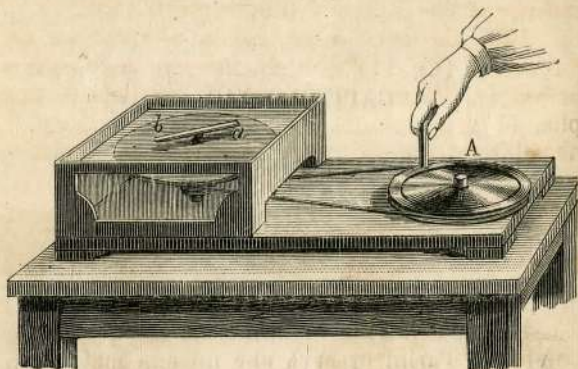



Fig. 89.

Infine Faraday sospese mediante un filo (fig. 90) un cubetto di rame R in mezzo ai poli N, S di una forte elettrocalamita, e dopo aver torto il filo lo abbandonò in preda ad un rapido movimento di rotazione: al chiudere la corrente magnetizzante. il cubetto si fermava issofatto; all'aprire, esso ripigliava il movimento interrotto dalla forte azione dei poli.

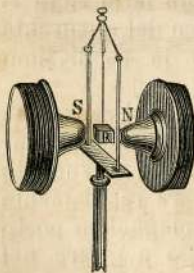



Fig. 90.

Questi fatti s'interpretavano ammettendo che anche i corpi non magnetici acquistassero il magnetismo, ogniqualvolta fossero in preda ad un

movimento. Ma essi ricevettero una chiara spiegazione colla feconda scoperta delle *correnti di induzione* che Faraday fece verso il 1832.

128. Correnti d'induzione. — Abbiasi un circuito *S* (fig. 91), che chiameremo *inducente* o *primario*, destinato a ricevere la corrente di una pila, ed in prossimità un altro circuito chiuso *R*, che diremo *indotto* o *secondario*, il quale comu-

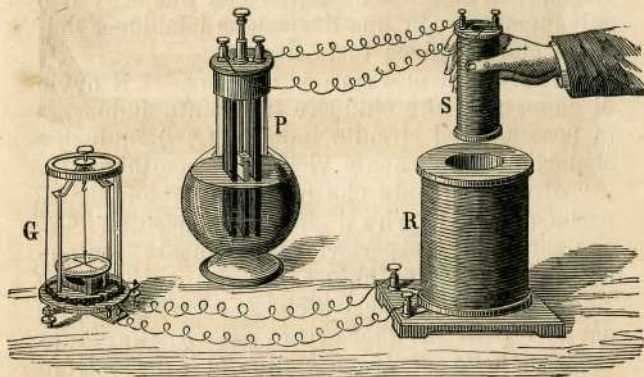



Fig. 91.

nichi con un galvanometro *G*, o con una rana preparata al modo di Galvani.

1.° *a)* Al chiudere il circuito inducente si suscita nel circuito indotto una corrente *inversa*, cioè contraria a quella della pila.

b) All'aprire il circuito primario si suscita nel secondario una corrente *diretta*, cioè nello stesso senso di quella della pila.

2.° *a)* Aumentando la intensità della corrente primaria, si ha una corrente indotta *inversa*.

b) Diminuendola, una corrente indotta *diretta.*

3.° *a)* Avvicinando al circuito indotto il circuito inducente chiuso si ha una corrente *inversa.*

b) Allontanandolo, una corrente indotta *diretta.*

Queste correnti *indotte* durano un tempo brevissimo: la rana ne dà segno con una scossa; il galvanometro con una deviazione istantanea dell'ago che si riduce tosto a zero.

129. Leggi di Felici e di Lenz. — È ovvio di ammettere che chiudere il circuito inducente in presenza del circuito indotto (1.° *a*) equivalga al portare rapidamente vicino al circuito indotto (3.° *a*) una corrente che n'era molto lontana; e parimenti che l'aprire il circuito inducente (1.° *b*) equivalga al trasportarlo rapidamente lontano (3.° *b*) quand'è già chiuso.

Il prof. Felici dimostrò che *la corrente indotta che si ottiene nel movimento del circuito inducente rispetto al circuito indotto è sempre la differenza delle correnti indotte che si ottengono chiudendo od aprendo il circuito inducente nelle due posizioni estreme da esso occupate.*

Consideriamo adunque i fatti segnati *a)* come dovuti sempre ad un avvicinamento e quelli segnati *b)* come dovuti ad un allontanamento dei due circuiti e rammentiamo (§ 112) le azioni elettrodinamiche fondamentali, cioè che due correnti si attraggono o si respingono, secondochè sono dirette nello stesso senso o in senso contrario. Potremo così comprendere il significato

della *legge di Lenz* che determina in ogni caso il senso relativo della corrente indotta e inducente:

Nel movimento relativo dei due circuiti la corrente indotta che si suscita è tale che, reagendo sulla corrente inducente, tende ad opporsi al movimento che l'ha generata.

Anche quì si verifica il principio generale che in natura ad ogni azione corrisponde sempre una reazione eguale e contraria.

130. La scarica d'un condensatore che passa a traverso un circuito inducente, suscita pure, in un circuito indotto vicino, una scarica indotta, la quale si manifesta colla scintilla se i due capi di quest' ultimo sono tenuti a breve distanza; oppure colla scossa, se del circuito indotto fa parte il corpo di un animale.

131. Induzione elettromagnetica. — L'induzione che abbiamo testè studiata si dice *elettrodinamica*, perchè dovuta al movimento relativo di circuiti vôltiani, per distinguerla dalla *elettromagnetica*, che si suscita nel movimento relativo di poli magnetici e di circuiti chiusi (fig. 92). Imperocchè si verificano anche in questa i medesimi fatti e le medesime leggi, purchè s'immagini sostituito al magnete inducente la corrente del solenoide che, secondo le idee di Ampère (§ 111), ne potrebbe tener luogo.

Anche il magnetismo terrestre desta delle correnti indotte entro conduttori che si muovono relativamente ai poli della calamita tellurica e nelle sue variazioni esso suscita delle forti correnti nei fili delle linee telegrafiche.

Si possono sovrapporre gli effetti dell'induzione elettrodinamica e della elettromagnetica, servendosi per circuito inducente di una elica che avvolge un nucleo di ferro dolce. Al chiudere

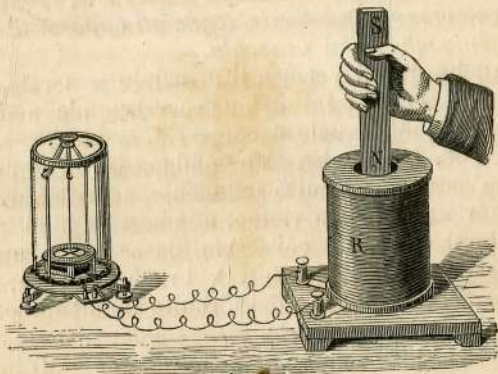



Fig. 92.

il circuito, si magnetizza il nucleo e ciò suscita una corrente indotta elettromagnetica che si sovrappone a quella dovuta alla corrente stessa magnetizzante. All'aprire, cessa la corrente e scompare il magnetismo: le due azioni destano due correnti indotte nel medesimo senso.

132. Regola di Maxwell. — I fisici inglesi riassumono in un modo semplice le leggi dell'induzione. Rammentiamo che in un *campo magnetico* generato dalla presenza di poli magnetici o di correnti elettriche, la limatura di ferro si dispone lungo certe linee dette *linee di forza* (§ 17 e 104). Or bene, *quando un filo conduttore*

chiuso sopra sè medesimo si muove in un campo magnetico, si desta in esso una corrente indotta ogniqualvolta aumenta o diminuisce il numero delle linee di forza che lo attraversano; e la corrente è proporzionale al numero di esse linee che vengono introdotte nel circuito, ovvero escluse, in virtù del movimento considerato.

133. Extra corrente. — Anche le diverse parti di un solo circuito di corrente, massime se avvolto a spire, al cominciare e al finire di essa, esercitano mutuamente azioni induttrici. La corrente dovuta a questa induzione del circuito sopra sè stesso si dice *extra corrente.*

Quella di *chiusura* è contraria alla corrente principale e ne ritarda perciò, negli istanti successivi alla chiusura, il giungere all'intensità massima. Quella *di apertura* è nello stesso senso della corrente principale e la rinforza nell'istante ch'essa finisce.

Al chiudere il circuito d'una pila non si osserva mai la scintilla, a meno che si abbia che fare con una grandissima forza elettromotrice. All'aprire invece appare sempre una scintilla ove avviene il distacco, segnatamente se il circuito è avvolto a spire sopra sè stesso, e più vivace se le spire s'avvolgono intorno ad un nucleo di ferro dolce. Questa scintilla è appunto dovuta alla extra-corrente di apertura.

134. Caratteri delle correnti indotte. — Le extracorrenti influiscono notevolmente sulla durata delle correnti indotte che si destano nei circuiti secondarî al chiudere e all'aprire del circuito primario.

Ne consegue che:

la corrente indotta di chiusura dura più della corrente di apertura.

E poichè:

ciascuna di esse trasporta una eguale quantità di elettricità.

Così:

la corrente di apertura è più intensa della corrente di chiusura.

Infatti, se in un circuito secondario, che contenga un galvanometro ed un amperometro ad acqua, si suscitano delle correnti indotte di chiusura e di apertura, le quali si alternino rapidamente, l'ago del galvanometro non devia, e per la elettrolisi si raccolgono in ambe le campanelle quantità eguali di miscuglio di ossigeno e idrogeno: segno che passano quantità eguali di elettricità in senso contrario, le quali per altro scaldano le diverse parti del circuito in ragione della rispettiva resistenza, come vuole la legge di Joule (§ 95).

Che se nel circuito secondario si lascia una breve interruzione, questa viene attraversata sotto forma di scintilla dalla sola corrente indotta di apertura, la quale appunto perchè dura meno, riesce più intensa di quella di chiusura ed è perciò atta a vincere resistenze maggiori.

Del resto così per l'una come per l'altra l'intensità della corrente, come dimostrò Felici, *è proporzionale alla intensità della corrente primaria e alla resistenza del circuito secondario.* Il loro carattere essenziale è quello di correnti *a forte tensione,* capaci perciò di superare grandi resistenze esterne.

135. Rocchetto d'induzione. — Un rocchetto d'induzione (fig. 93) è formato da un fascio di

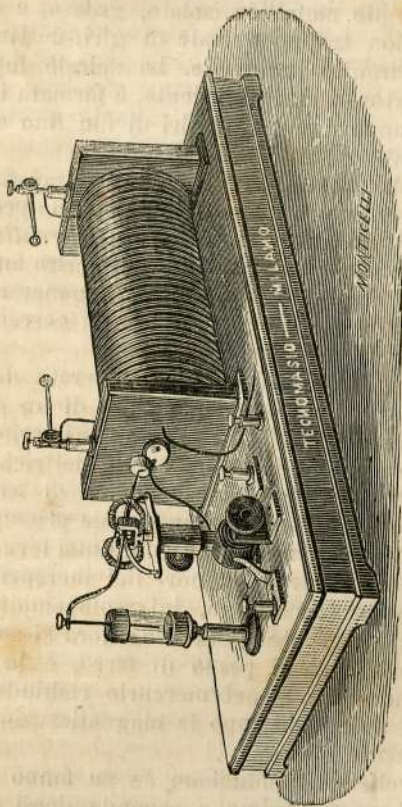



Fig. 93.

fili di ferro dolce (verniciati per impedire le extracorrenti entro la loro massa), posto secondo

l' asse di un cilindro di legno. Intorno a questo è avvolta in senso perpendicolare all' asse una spirale di filo metallico isolato, grosso, e di un numero non troppo grande di giri, destinata a fare da circuito inducente. La spirale indotta, avvolta intorno alla precedente, è formata invece da un grande numero di giri di filo fino ed accuratamente isolato.

I capi di quest'ultima comunicano coi rami di uno spinterometro e quelli della spirale primaria coi poli di una pila mediante un *interruttore*, il quale è destinato a chiudere e ad aprire automaticamente il circuito della pila e a generare così una serie alternata e rapidissima di correnti indotte di chiusura e di apertura.

Talvolta l'interruzione viene operata dal movimento di va e vieni dell' ancora di un piccolo elettromagnete posto nel circuito primario e somigliante a quello dei campanelli elettrici. Altre volte vien fatta dallo stesso nucleo di ferro del rocchetto. Esso magnetizzandosi da principio attira un pezzo di ferro saldato ad una leva vicina e ne solleva l'estremità fuori del mercurio contenuto in un bicchierino, interrompendo il circuito della corrente; il nucleo allora si smagnetizza, abbandona il pezzo di ferro, e la punta della leva si rituffa nel mercurio richiudendo il circuito; quindi da capo la magnetizzazione del nucleo, ecc.

Di rocchetti d' induzione se ne fanno di dimensioni svariatissime a seconda degli usi cui sono destinati. Quelli che servono per le cure mediche, nelle quali è consigliata la corrente al-

ternata, sono di modeste dimensioni e messi in azione da pochi elementi, di solito, Grenet o Leclanchè. L'intensità della corrente indotta si regola introducendo più o meno entro il rocchetto un cilindro cavo di ottone ad abbracciare il nucleo di ferro; le correnti indotte che si destano su questo cilindro, essendo di senso contrario alla corrente inducente, neutralizzano, in parte almeno, l'azione magnetizzante di quest'ultima sul nucleo.

In altri invece la spirale indotta è avvolta ancora su un cilindro coassiale a quello della inducente, ma separabile; per modo che i due circuiti si possono avvicinare e allontanare a piacimento. Negli apparati *a slitta* di Du Bois Reymond il circuito indotto si fa scorrere su un regolo diviso in millimetri.

Le correnti indotte, in grazia della loro grande tensione, sono eminentemente adatte a superare le grandi resistenze opposte dai tessuti animali.

I rocchetti di grandi dimensioni sono conosciuti generalmente sotto il nome di *rocchetti Ruhmkorff* dal costruttore parigino che li mise in voga. Essi racchiudono nella base di legno un condensatore, formato da più fogli di stagnola alternati con fogli di carta paraffinata.

Congiungendo i due capi dell'elica indotta del rocchetto colle armature di questo esteso condensatore, si ottiene l'effetto di diminuire ancor più la durata della corrente indotta di apertura, di aumentarne perciò l'intensità e quindi la lunghezza delle scintille. Così si ottennero perfino scariche di parecchi decimetri e tali da dover-

sene ben guardare. Anzi Spottiswoode dal suo gigantesco rocchetto, nel quale la spirale indotta fa 340.000 giri con una lunghezza complessiva di oltre 400 chilometri di filo, adoperando una corrente inducente fornita da 30 elementi Grove, ottenne scintille lunghe fino metri 1.25.

I rocchetti Ruhmkorff perdettero alquanto dell'importanza pratica che avevano dapprima, dopochè anche dalle macchine elettroforiche Holtz si poterono cavare facilmente lunghe scintille. Ma ciò dimostra una volta di più, se ce ne fosse bisogno, l'identità di effetti che si ottengono dalla elettricità delle pile e da quella delle macchine elettriche ordinarie.

136. Scariche nei gas rarefatti. — I rocchetti d'induzione si prestano assai bene per rendere incandescenti i gas rarefatti e studiarne i caratteri della luce, facendoli attraversare dalla scarica.

Accennammo già (§ 44) ai *tubi di Geissler*, i quali contengono appunto gas rarefatti di diversa natura. Aggiungeremo che la resistenza offerta da un gas al passaggio della scarica va diminuendo dapprima col diminuire della sua pressione, fino a raggiungere un minimo (che varia secondo la natura del gas); di poi risorge quando la pressione va sempre più impicciolendo, come si osserva nei *tubi di Crookes*, nei quali la pressione del gas è ridotta a qualche milionesimo di atmosfera.

I curiosi fenomeni presentati dalla scarica entro questi tubi avevano fatto supporre a Crookes un quarto stato della materia, detto *ultragassoso*

o *radiante*, nel quale le molecole avessero la proprietà:

di muoversi in linea retta;

di produrre la fosforescenza dove vengono a colpire altri corpi;

di sentire l'azione della calamita.

È notevole ciò che si osserva in un tubo in cui faccia da elettrodo positivo una croce d'alluminio *C* che sorge nel mezzo (fig. 94). Il flusso luminoso che parte dall' elettrodo negativo *A* rende fosforescente tutto il vetro, tranne sulla

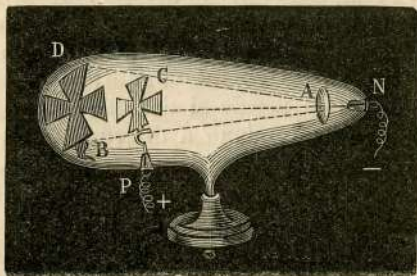



Fig. 94.

parete opposta dove si proietta in contorni nitidi l' ombra della croce *B D*.

Se non che per spiegare tali fenomeni non è necessario ammettere un quarto stato della materia, giacchè, come dimostrò il prof. Ferrini, i fenomeni manifestati dalla scarica nei gas rarefatti conservano una analogia nella loro produzione dalle ordinarie pressioni alle più tenui.

Rispetto al magnetismo il filetto luminoso che porta la scarica si comporta precisamente come

un reoforo flessibile, cioè tende a disporsi parallelamente alla corrente del solenoide che sostituirebbe il magnete.[1] Del resto anche De-La-Rive aveva già dimostrato cotesta azione della calamita sulle scariche ne' gas rarefatti; anzi avea tentato con un notevole esperimento di riprodurre in piccolo il fenomeno dell'*aurora polare*, da lui considerato come dovuto a scariche elettriche nelle alte regioni dell'aria, influenzate dalla calamita tellurica.

137. Ed ora torniamo per un istante donde abbiamo preso le mosse. I fatti del *magnetismo di rotazione* (§ 127) trovano la spiegazione immediata nella legge di Lenz. Infatti là si tratta sempre di movimento relativo tra conduttori e poli magnetici: in quelli perciò si destano delle correnti d' induzione che tendono a distruggere il movimento che le ha generate.

Se ne ha la riprova nel fatto che se il disco nell' esperimento di Arago, in luogo di essere pieno, è tagliato secondo i raggi, l' ago magnetico non lo segue nel suo movimento di rotazione, appunto perchè in quello non ponno circolare le correnti d'induzione. Parimenti se, come fece Matteucci, sul cubetto di Faraday s' incollano delle listerelle di carta perpendicolari alla direzione del movimento, il cubetto non si arresta per l' eccitarsi della elettrocalamita.

Foucault diede un' altra forma all' esperimento di Faraday. Un disco di rame *D* (fig. 95) può gi-

[1] Da recenti ricerche di Hertz risulterebbe però che i filetti luminosi sono indipendenti dalle linee percorse dalla corrente.

rare rapidamente per mezzo di un delicato roteggio, fra due pezzi di ferro dolce A, B che sono una espansione delle faccie polari di una forte elettro-calamita. All'atto che questa si eccita con una corrente, il disco si arresta, e per muoverlo si deve fare una grande fatica: il lavoro meccanico speso genera le correnti indotte, le quali scaldano il disco fino a far fondere una lega fusibile di cui esso sia stato ricoperto.

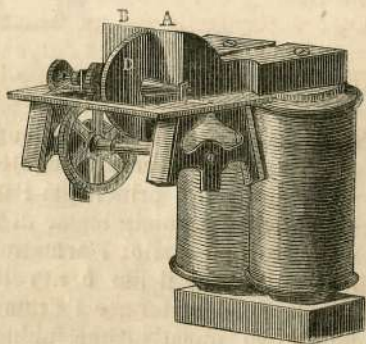



Fig. 95.

Quì il disco si trova in un campo magnetico intenso, e muovendosi taglia ad angolo retto un gran numero di linee di forza che vanno da un polo all'altro (vedi pag. 6). Muovere dei conduttori entro un campo magnetico a traverso le linee di forza suscita in essi delle correnti d'induzione: ecco il principio delle macchine magneto-elettriche.

CAPITOLO XIV.

Macchine magneto e dinamo-elettriche. Telefono.

138. Macchina Pixii-Clarke. — Il conduttore nel quale si destano le correnti indotte dicesi *armatura*. Tre sono i tipi principali: l'armatura Pixii-Clarke, costrutta a somiglianza di un elettromagnete a ferro di cavallo; l'armatura *cilindrica* di Siemens, su cui il filo è avvolto come il filo sulla spola del tessitore, e l'armatura *annulare* Pacinotti; di quest'ultime abbiamo già parlato nei paragrafi 124 e 125.

Nella prima macchina dei fratelli Pixii di Parigi (1833) l'armatura era fissa e sotto di essa veniva fatta rivolgere rapidamente in presenza dei nuclei una forte calamita permanente a ferro di cavallo. Nella macchina Saxton-Clarke (1834) invece stà fisso un robusto fascio A di calamita (fig. 96) a ferro di cavallo e davanti ai poli ruota rapidamente l'armatura $B B'$.

Rappresentiamo schematicamente le posizioni relative occupate dai poli N, S della calamita e

dai nuclei B, B' dell'armatura al principio di ogni quarto d'un intera rivoluzione.

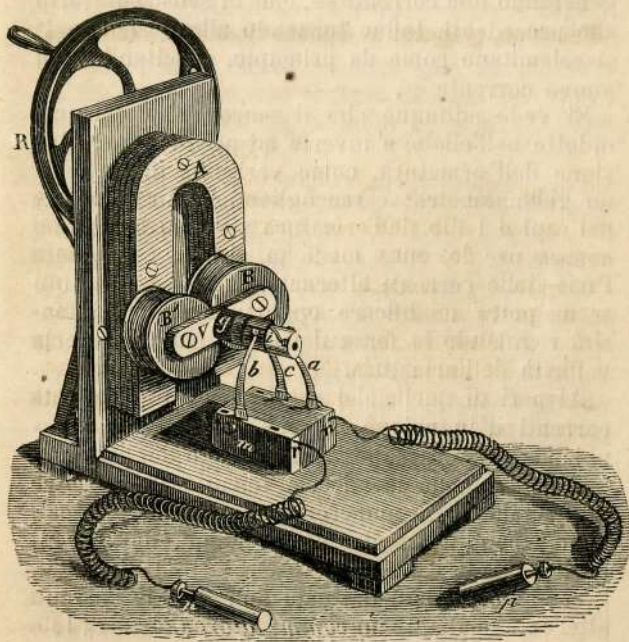
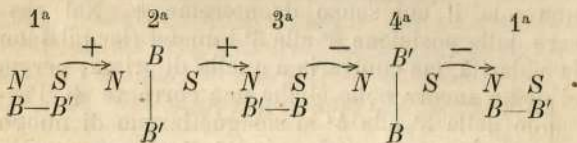



Fig. 96.

Nel passare dalla posizione 1ª alla 2ª i nuclei, ch'erano magnetizzati per l'influenza dei poli, si

smagnetizzano dando luogo a due correnti indotte, le quali nelle due eliche si sommano in una sola, il cui senso denoteremo +. Nel passare dalla posizione 2ª alla 3ª i nuclei riacquistano la polarità, ma contraria a quella di prima; perciò si desta ancora nelle eliche una corrente +. Passando dalla 3ª alla 4ª si smagnetizzano di nuovo generando una corrente —, cioè di senso contrario alle precedenti. Infine tornando alla posizione 1ª si calamitano come da principio, suscitando una nuova corrente —.

Si vede adunque che il senso delle correnti indotte nell'eliche s'inverte ad ogni semi-rivoluzione dell'armatura, come verrebbe indicato da un galvanometro; e raccogliendole direttamente dai capi del filo dell'armatura servono benissimo ancora per le cure mediche, dov'è consigliato l'uso delle correnti alternate. È chiaro che quì se ne potrà modificare opportunamente l'intensità regolando la forza del fascio magnetico e la velocità dell'armatura.

Al pari di quelle dei rocchetti (§ 134), queste correnti d'induzione, allorchè si succedono rapidamente, non fanno deviare l'ago del galvanometro; svolgono la miscela tonante in ciascuna campanella d'un amperómetro ad acqua e riscaldano i conduttori che attraversano, fino a renderli incandescenti.

Ma raccogliendo dai capi dell'elica le correnti alternate mediante un *commutatore Clarke* (§ 125) che ruoti insieme coll'armatura, esse vengono dirette nel medesimo senso; e purchè la rotazione avvenga con sufficiente rapidità, fanno l'effetto d'una corrente continua.

La grande macchina Nollet, detta dell'*Alliance*, è una macchina Clarke multipla, nella quale una ruota porta in giro 80 armature che passano davanti ad altrettanti potenti fasci magnetici. Con essa s'illuminarono i primi fari elettrici.

139. Una macchina magneto-elettrica in conclusione vuol essere considerata come una pila, in cui l'energia della corrente viene somministrata non già dall'affinità chimica o dal calore, ma bensì dalla forza motrice che fa muovere l'armatura a traverso le linee di forza del campo magnetico. Anche quì valgono le leggi di Ohm e di Joule (Cap. X).

* *La forza elettromotrice è proporzionale all'intensità del campo magnetico, alla velocità dell'armatura e al numero delle spire dell'elica; è indipendente dalla loro ampiezza, e dalla natura e sezione del filo di cui sono formate.* Ben si intende che la resistenza del circuito varia col modo con cui sono formate le spire. Aumentando adunque la velocità, cresce la forza elettromotrice e quindi l'intensità della corrente; ma non bisogna neppure dimenticare che la corrente scaldando i fili metallici (in proporzione del quadrato della sua intensità) ne aumenta notevolmente la resistenza (§ 93) e che perciò vi sarà un certo limite, variabile secondo le condizioni speciali della macchina, oltre il quale non sarà più conveniente spingere la velocità dell'armatura.

140. Armatura Siemens. — Un saliente progresso nella costruzione delle macchine magneto-elettriche fu fatto (1857) coll'introduzione del-

l'armatura Siemens, colla quale si può ottenere una maggiore velocità di rotazione e utilizzare la parte più intensa del campo magnetico.

Siemens la faceva ruotare in mezzo a due pezzi prismatici di ferro dolce che formavano l'armatura dei poli d'una serie di calamite a ferro di cavallo disposte parallelamente (fig. 97).

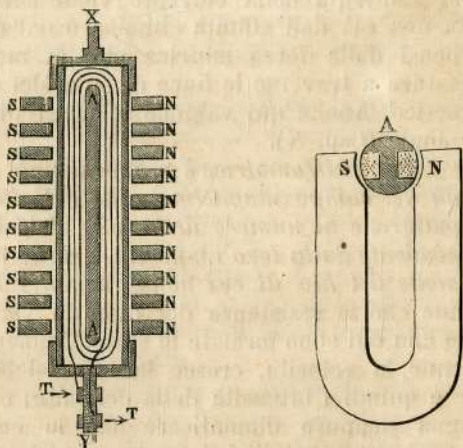



Fig. 97.

Abbiamo già veduto (§ 125) come Marcel Deprez abbia disposta la medesima armatura fra le branche d'un solo fascio a ferro di cavallo. Quando essa vien posta in movimento mediante la manovella *R* (fig. 87), taglia tutte le linee di forza del campo, e la corrente viene raccolta all'esterno mediante il commutatore Clarke. Si capisce dunque ora come quella macchina sia invertibile.

141. Macchine dinamo-elettriche. — Wilde ebbe l'idea (1867) di formare un intenso campo magnetico mediante una elettrocalamita eccitata da una macchina magneto-elettrica.

Wheatstone e Siemens avvertirono che si potea principiare col destare le correnti indotte nell'armatura mediante il debole magnetismo residuo (§ 109) dei nuclei d'una elettrocalamita e che di poi queste correnti potevano essere lanciate a traverso l'elica magnetizzante per rinforzare il campo magnetico. È questo il concetto delle macchine *dinamo-elettriche*, nelle quali cioè vi è assenza di calamite permanenti.

Ladd collocò due armature Siemens sul medesimo asse coi rispettivi commutatori alle due estremità. Le correnti indotte nell'elica di una di esse vengono lanciate nell'elica magnetizzante di un elettromagnete fra le cui faccie ruotano: quelle dell'altra vengono inviate nel circuito esterno.

142. Macchina Pacinotti-Gramme. — Ma fino dal 1860 il prof. Antonio Pacinotti, pisano, aveva ideato l'armatura annulare, che noi abbiamo già descritta (§ 124), dove si fa a meno del commutatore e si può raggiungere una maggiore velocità. Allorchè l'anello di ferro dolce è posto in rotazione, si formano due poli magnetici nelle sezioni *n*, *s* che passano davanti ai poli della calamita permanente *S*, *N* e scompaiono tosto che quelle se ne allontanano. La posizione dei poli nell'anello cambia di continuo, ma nello spazio è sempre la medesima: essi cioè nella figura 86 si trovano allineati sul diametro verticale.

Anche le linee di forza del campo magnetico, dove si muove l'anello, sono parallele e verticali, più spesse sulla linea dei poli della cala-

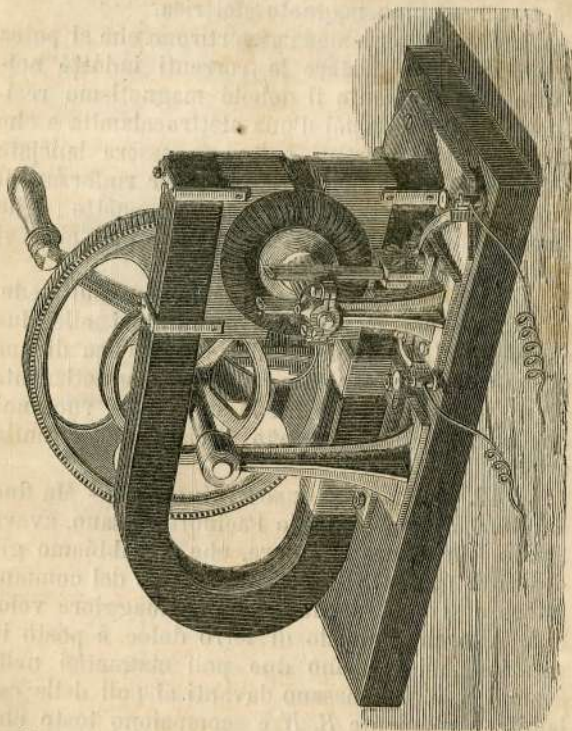



Fig. 98.

mita permanente. Perciò tutte le spire che si muovono nella metà superiore dell'anello tagliano le linee di forza nella stessa direzione e sono invase da correnti indotte del medesimo senso;

tutte quelle che si muovono nella metà inferiore tagliano le linee di forza in direzione contraria e sono invase da correnti indotte di senso contrario alle precedenti Laonde le due metà dell'anello in movimento possono considerarsi come due pile, i cui poli positivi si congiungono in *a*, e i negativi in *b*; o viceversa, secondo il senso della rotazione. Le due striscie *c*, *c'* che toccano costantemente le spire in *a* e *b* portano la corrente nel circuito esterno. Ed ecco come anche la macchina Pacinotti è invertibile.

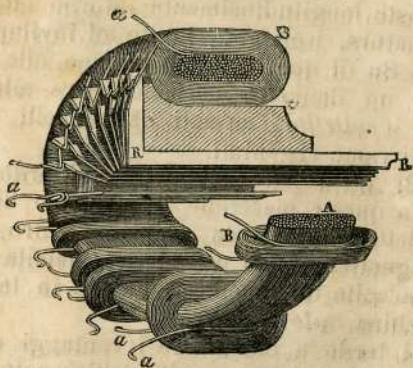



Fig. 99.

Anche quì la forza elettromotrice della corrente è proporzionale all'intensità del campo, alla velocità dell'armatura, ed al numero delle spire che coprono l'anello, di cui la resistenza potrà farsi variare dentro limiti molto estesi, secondo le applicazioni.

Nel 1871 comparve la prima macchina magne-

to-elettrica Gramme coll' armatura Pacinotti migliorata nei dettagli di costruzione e sempre più perfezionata col tempo.

Il campo magnetico è formato da fasci magnetici Jamin a ferro di cavallo (fig. 98) con grosse appendici di ferro, in mezzo alle quali, mediante un delicato roteggio, s' imprime un rapido moto di rotazione all' anello. Quest'ultimo è fatto di un fascio di fili di ferro isolati *A* (fig. 99) e la spirale di 60 tronchi, i cui capi contigui si saldano tra loro e con una delle lamine metalliche radiali *R*, disposte longitudinalmente intorno all'albero dell' armatura, isolate e riunite ad inviluppo cilindrico. Su di questo si appoggiano alle estremità di un diametro perpendicolare alle linee dei poli i *collettori* formati da pennelli o fasci di fili di rame argentati.

143. Altre macchine. — Non si tardò ad applicare a queste macchine il principio delle dinamo-elettriche, facendo circolare dentro la spirale magnetizzante di una elettrocalamita la corrente raccolta dall' anello, rendendo in tal guisa la macchina *auto-eccitatrice.*

Nè si tardò a combinare i vantaggi dell' armatura Pacinotti con quelli dell' armatura Siemens. La nuova armatura è fatta da un cilindro cavo di ferro, girevole intorno al proprio asse e circondato da un cilindro di pacfong: il filo di rame isolato è avvolto longitudinalmente nell' intercapedine. Due grandi elettrocalamite a ferro di cavallo (fig. 100) sono disposte orizzontalmente; i poli superiori e gli inferiori, che sono omonimi, sono collegati da due serie di archi di ferro

formanti col loro assieme una cavità cilindrica, nella quale si rivolge l'armatura modificata. Tale è la macchina dinamo-elettrica della casa Siemens

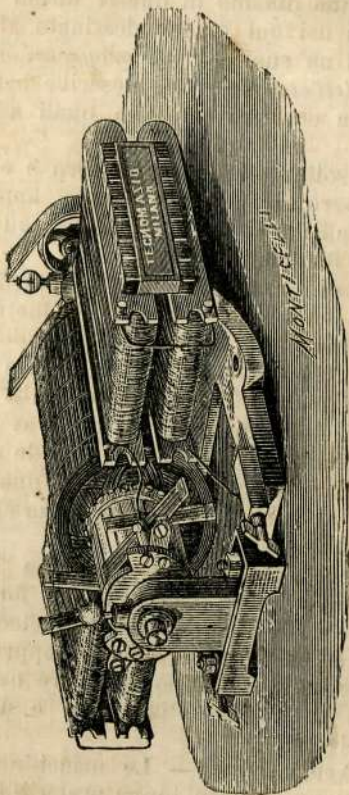



Fig. 100.

e Halske di Berlino, colla quale si raggiungono

gli stessi effetti, con minore spesa di lavoro in confronto delle macchine precedenti.

Svariatissime sono le modificazioni introdotte nelle macchine dinamo in questi ultimi tempi a norma degli usi cui furono destinate. Il professore Ferrini ne' suoi *Recenti progressi nelle applicazioni dell'elettricità*, ne descrive ben trenta tipi, quali a correnti continue, quali a correnti alternate.

Citeremo soltanto le macchine Brush e le Edison che ebbero già, più che le altre, applicazioni industriali all'illuminazione elettrica ed al trasporto della forza a distanza.

In quelle di Brush la resistenza interna è assai grande (23 *ohm*) e la forza elettromotrice raggiunge perfino i 2200 *volta*, tale da renderne pericoloso l'uso. In quelle di Edison invece la resistenza dell'armatura è assai piccola ($^{8}/_{1000}$ di *ohm*), colossali gli elettromagneti, su cui è avvolta una spirale di grande resistenza, che prende una derivazione della corrente esterna. Con una velocità di 325 giri al minuto si ha una forza elettromotrice di 110 *volta*.

Infine accenneremo alla macchina Ferranti-Thomson, nella quale l'armatura è formata da un semplice nastro di rame senza nucleo di ferro. Ciò aumenta l'effetto utile, perchè sopprime quasi completamente lo sviluppo di calore nell'interno e il lavoro della magnetizzazione e smagnetizzazione dei nuclei.

144. Applicazioni. — Le macchine dinamo-elettriche sono di gran lunga preferibili alle pile per la comodità e per la economia.

Difatti le pile richiedono molte cure per la montatura e la manutenzione; occupano molto spazio e non di rado mandano effluvi nocivi. Una dinamo invece è di poco ingombro e sempre pronta ad agire, specialmente se mossa da un motore idraulico od a gas.

Quanto all'economia, è stato provato che, ad esempio, l'illuminazione elettrica costa colle pile almeno 10 volte più che colle dinamo.

Ma l'invertibilità delle macchine dinamo le rende preziose pel *trasporto* e per la *distribuzione della forza*. Si hanno forze naturali disponibili: cascate d'acqua, venti, maree, che sul posto non trovano impiego adeguato. Si pongono con esse in movimento delle macchine dinamo-elettriche (*generatrici*); la corrente così generata viene trasmessa ad altre dinamo, dette *collettrici*, producendo così della energia meccanica che potrà essere adoperata dove torni opportuno, anche a notevoli distanze dalle macchine *generatrici*, e potrà venir ripartita su un conveniente numero di macchine utensili.

È certo per altro che una collettrice non restituirà tutta l'energia ricevuta dalla generatrice, perchè una parte si disperderà sotto forma di calore. Bisogna perciò vedere se il costo dell'energia utilizzata — tenuto conto delle spese d'impianto, di manutenzione, di esercizio, dell'ammortizzazione e degli interessi del capitale impiegato — non sia tale da preferire l'impiego di una motrice a gas o a vapore.

Ancorchè il problema sia scientificamente risoluto, pure dal punto di vista economico siamo

ancora lontani dal sogno vagheggiato di poter trasportare utilmente nei centri industriali la forza onde vanno ricche le nostre vallate alpine, giacchè il detto trasporto non sarebbe conveniente se non fatto in scala abbastanza grande ed entro limiti di distanze che non importino un'eccessiva spesa d'impianto.

Tuttavia in grazia della semplicità dell'impianto che non esige organi complicati di trasmissione, e della prontezza con cui si attiva e si sospende il lavoro per mezzo di un semplice interruttore che chiuda ed apra il circuito, il trasporto della forza si applica utilmente:

alla distribuzione dell' energia a domicilio ponendo in azione piccoli torni, macchine da cucire, ecc.;

ai lavori nelle gallerie delle miniere, dove importa evitare ogni ingombro;

ai lavori agricoli;

alla locomozione sulle tramvie elettriche, con assenza di fumo, di vapore e di faville;

infine a parecchie altre macchine operatrici, come del resto è facile immaginare.

145. Telefono e microfono. — Il telefono inventato da Graham Bell nel 1876 è pure una macchina magneto-elettrica invertibile. Consiste in due apparecchi identici che servono ugualmente da *trasmettitore* e da *ricevitore.* Una calamita permanente di acciaio *a a* (fig. 101) è chiusa in un astuccio cilindrico di legno che ad un capo si apre in una scatola *C C*: entro questa un rocchetto *R R* di molti giri di filo fine, di rame isolato, circonda il polo della calamita e i

capi del filo si congiungono a due serrafili *m m* e di quì pei fili *di linea* ai capi corrispondenti dell' altro apparecchio. Come nelle linee telegrafiche, uno dei fili può essere sostituito dalla comunicazione colla Terra.

La scatola presenta nel mezzo del coperchio una imboccatura *I*, dietro la quale un sottile disco di ferro *D*, essendo stretto all'ingiro tra l'orlo della scatola e il coperchio *K H*, riesce col suo

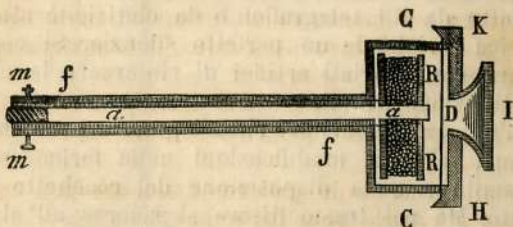



Fig. 101.

centro vicinissimo all' estremità della calamita.

I suoni prodotti davanti all' imboccatura del trasmettitore fanno vibrare la lastra di ferro; questa vibrando modifica il magnetismo della calamita e la distribuzione delle forze nel campo magnetico; e così induce delle correnti *ondulatorie* nel circuito formato dei due apparecchi, le quali si possono mettere facilmente in evidenza, introducendo nel circuito una rana preparata alla Galvani.

Le correnti indotte alla loro volta modificano collo stesso ritmo il campo magnetico nell'apparecchio ricevitore, dove perciò la calamita, atti-

rando più o meno la lamina di ferro, riproduce e comunica all'aria le vibrazioni del trasmettitore.

La soluzione del problema della trasmissione dei suoni non poteva essere più semplice, nè più elegante. Con questo apparecchio che non ha bisogno di alcuna preparazione la parola si riproduce fedelmente in tutti i suoi caratteri.

Se non che il suo regolare funzionamento non vuol essere disturbato da correnti accidentali indotte da fili telegrafici o da elettricità atmosferica e richiede un perfetto silenzio. Si cercò allora con svariati artificî di rinforzare le correnti troppo deboli.

L'apparato ricevitore rimase press'a poco come prima, salvo le modificazioni nella forma della calamita e nella disposizione del rocchetto indotto. Ma pel trasmettitore si ricorse all' aiuto del *microfono*.

Questo apparecchio inventato da Hugues serve a ingrandire suoni debolissimi che non sarebbero altrimenti percettibili. Sull'asserella verticale T (fig. 102) sono fissati due pezzi di carbone S, S' tra i quali è appoggiato un fuso C pure di carbone che fa parte del circuito di una pila. I suoni e qualunque fremito comunicato all'asserella si fanno sentire sui punti d'appoggio del fuso e fanno variare moltissimo la resistenza che essi oppongono al passaggio della corrente, la quale va perciò soggetta a variazioni *ondulatorie* di intensità.

In un trasmettitore telefonico abbiamo appunto un circuito inducente a filo corto, di cui fanno

parte una pila di pochi elementi Leclanché ed un microfono; ed un circuito indotto a molte spire che comunica colla linea e col ricevitore.

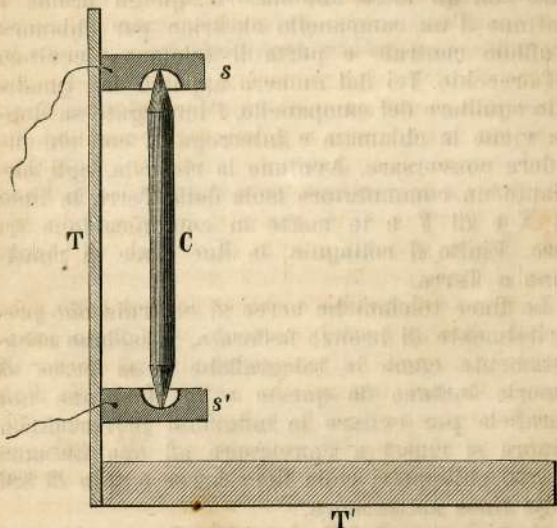



Fig. 102.

Parlando davanti alla tavoletta del microfono, le alterazioni della corrente inducente suscitano le correnti indotte che vanno rapidissimamente e collo stesso ritmo a modificare il campo magnetico del ricevitore.[1]

Negli impianti telefonici che servono alle co-

[1] Per più minuti schiarimenti vedi Manuali Hoepli: *Il Telefono* di D. V. Piccoli,

municazioni nell' interno d' una città ogni abbonato X è in comunicazione coll' ufficio centrale per mezzo d'una linea propria. Volendo conversare con un altro abbonato Y, quegli preme il bottone d'un campanello elettrico per chiamare l' ufficio centrale e porta il telefono ricevitore all' orecchio. Ivi dal numero apparso nel quadro allo squillare del campanello, l' impiegato sa donde viene la chiamata e interroga X con chi desidera conversare. Avutane la risposta, egli mediante un commutatore isola dalla Terra le linee di X e di Y e le mette in comunicazione tra loro. Finito il colloquio, le due linee si rimettono a Terra.

Le linee telefoniche aeree si costruiscono preferibilmente di bronzo fosforato, si isolano accuratamente come le telegrafiche e si cerca di tenerle lontane da queste e in direzione non parallela per evitare le induzioni perturbatrici. Finora si riuscì a conversare ad una distanza di 800 chilometri colle linee aeree e solo di 180 colle linee sotterranee.

Ma i progressi della telefonia furono già così rapidi, che è assai meno fuor di proposito adesso lo sperare che presto si potrà conversare tra Milano e Pekino, di quello che non fosse trent' anni addietro il supporre che si sarebbe potuto telegrafare da Milano a New-York.

A tanto doveva condurre l'umile fatto scoperto da Talete Milesio!

FINE.

ERRATA-CORRIGE.

Alla pag.	4	*linea*	9	*invece di*	ordinarie	*leggi:*	comuni
»	22	»	12	»	preso	»	presa
»	38	»	32	»	corpi	»	i corpi
»	80	»	2	»	carica	»	scarica
»	89	»	23	»	posto	»	posta
»	100	»	31	»	aggiunge	»	raggiunge
»	114	»	2	»	ove	»	in cui
»	142	»	6	»	resitenza	»	resistenza
»	148	»	8	»	non	»	*nm*
»	157	»	10	»	di	»	in
»	160	»	10	»	*k*	»	*K*
»	185	»	13	»	pag.	»	fig.

II. **Magneto-Elettromotori e Dinamo-Elettromotori.** (Descrizione minuta e particolareggiata di tutte le macchine analoghe finora inventate.)

III. **Strumenti di misura e ricerche intorno all'impiego delle macchine magneto e dinamo-elettriche.** (Questo importantissimo Capitolo termina colla teoria e la descrizione degli accumulatori.)

IV. **Illuminazione elettrica.** (Principii su cui si fondano i processi di illuminazione elettrica; materiale; regolatori, colla descrizione di tutti i sistemi di regolatori e di lampade.

V. **Impianti di illuminazione elettrica.** (Questo è uno dei Capitoli più importanti in giornata, e contiene una chiara e sicura guida per tali lavori.)

VI. **Altre applicazioni.** (Questo è il Capitolo che può destare maggior curiosità, perchè esamina, spiega ed illustra in modo inimitabile una immensa sequela di veri miracoli della scienza, dalla trasmissione della forza fino al popolarissimo telefono.)